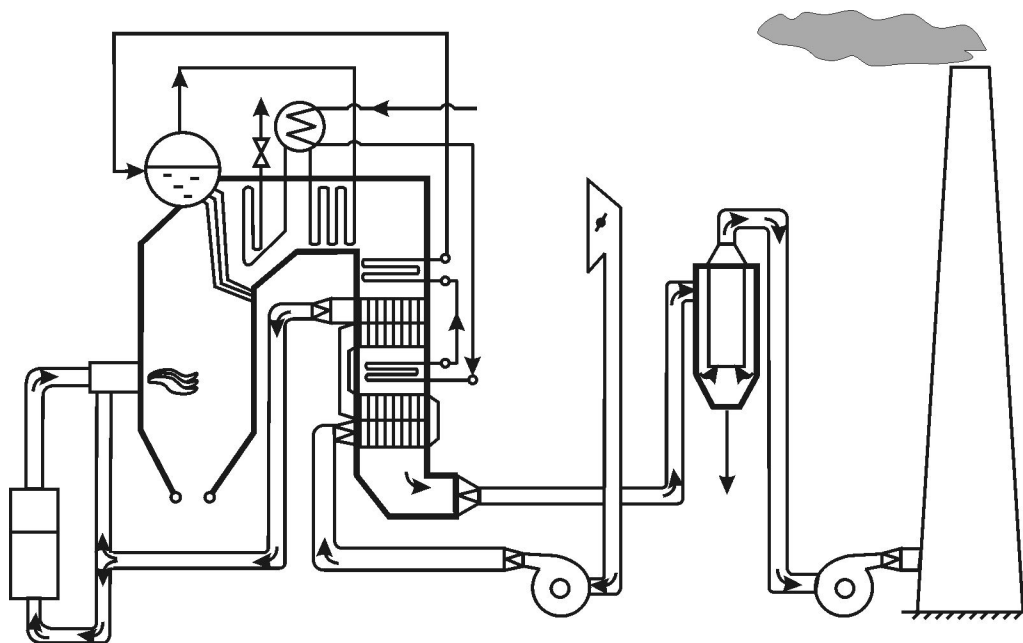


**Сморodin С.Н. , Иванов А.Н.  
Белoусов В.Н., Лакoмкин В.Ю.**

# **ТЕПЛОВОЙ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТЫ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

**Учебное пособие**

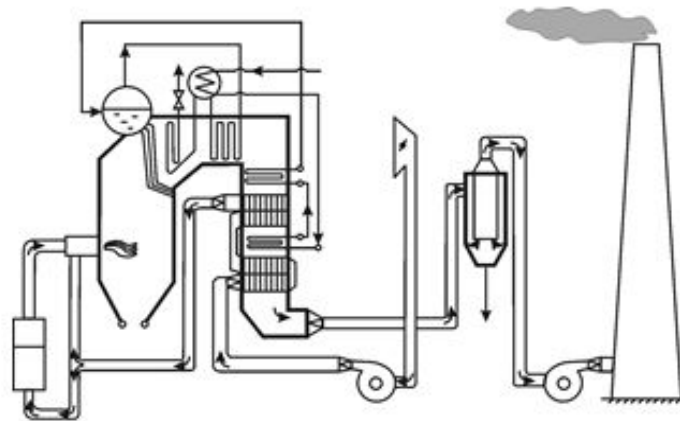


**Санкт-Петербург  
2013**

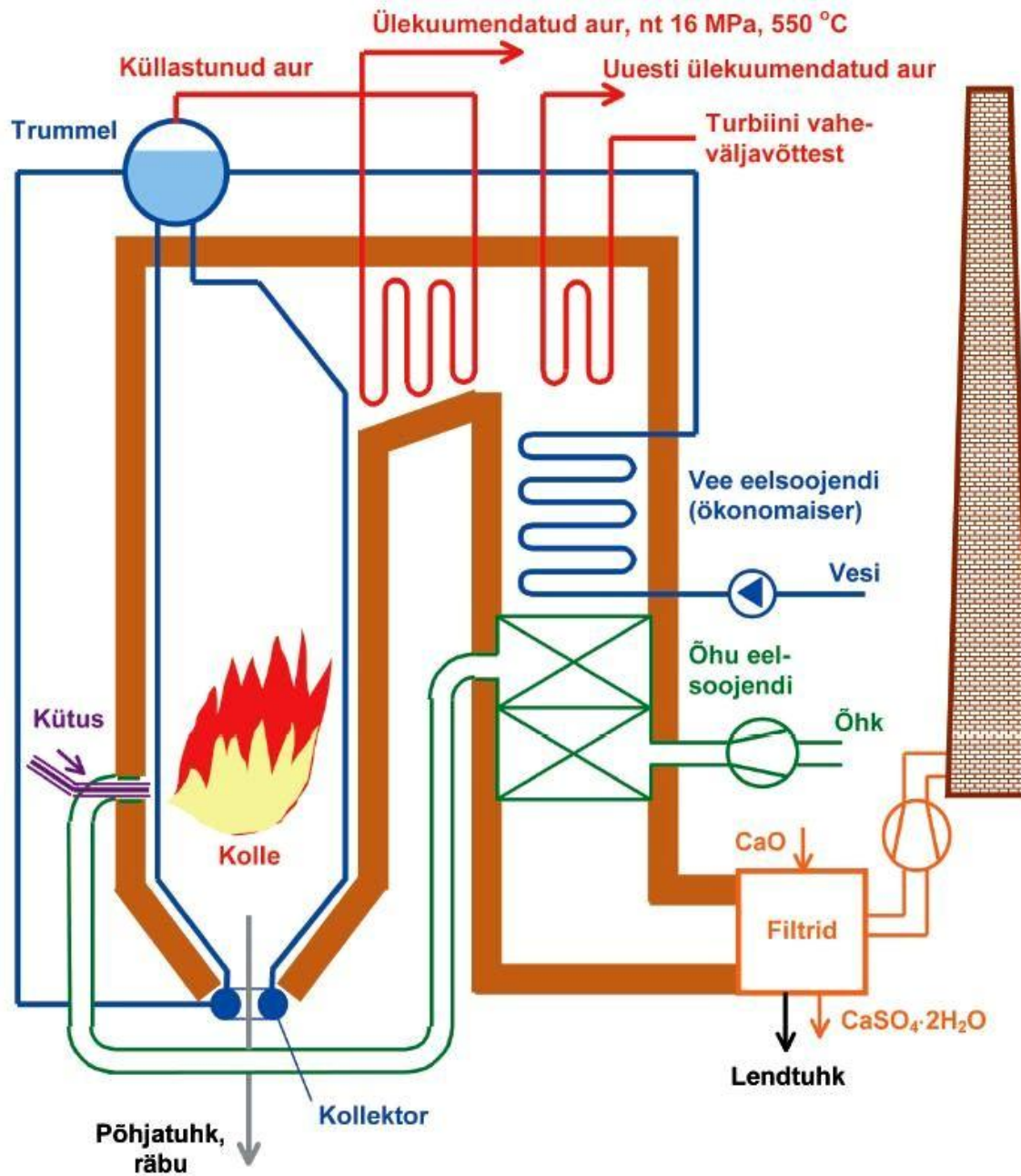
С.Н. Смородин, А.Н. Иванов, В.Н. Белоусов

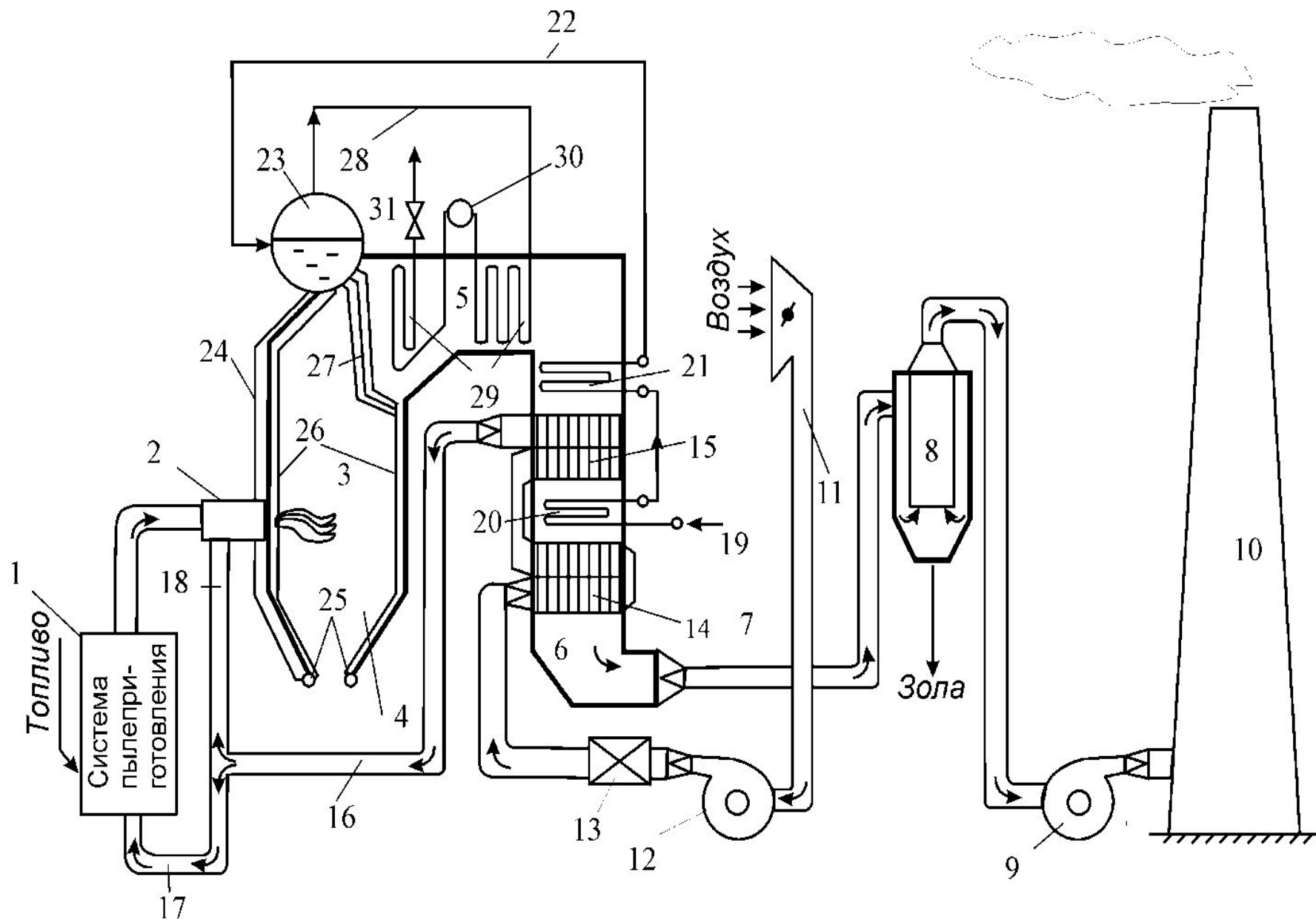
# КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

Учебное пособие



Санкт-Петербург  
2009





### Исходные данные для расчета:

Тип котла - барабанный, с естественной циркуляцией.

Паропроизводительность  $D_{\text{пар}}$  кг/с.

Давление перегретого пара  $P_{\text{пар}}$  бар.

Температура перегретого пара  $t_{\text{пар}}$  °С.

Состав топлива:

- месторождение и марка топлива;
- влажность  $W_t^f$  %;
- зольность  $A^f$ , %;
- сера общая  $S^f$  %;
- углерод  $C^f$ , %;
- водород  $H^f$ , %;
- азот  $N^f$ , %;
- кислород  $O^f$ , %;
- низшая теплота сгорания  $Q_i^f$ , МДж/кг;
- приведенная влажность  $W_{\text{пр}}^f$  (%·кг)/МДж;
- приведенная зольность  $A_{\text{пр}}^f$  (%·кг)/МДж;
- выход летучих на горючую массу  $V^{\text{daf}}$ , %.

Способ сжигания топлива - камерный, с твердым шлакоудалением.

Температура питательной воды после регенеративного подогрева  $t_{\text{гр.в}}$  °С.

Непрерывная продувка  $p$ , %.

Доля рециркуляции газов в топку - отсутствует.

Температура уходящих газов,  $\Theta_{\text{ух.г}}$  °С.

Температура воздуха на входе в воздухоподогреватель  $\Theta'_в$ , °С.

Температура горячего воздуха после воздухоподогревателя  $\Theta_{\text{гр.в}}$  °С.

Компоновка конвективных поверхностей нагрева выбирается: одноступенчатая или двухступенчатая.

Тип углеразмельняющей мельницы – молотковая.

## Объемы продуктов сгорания по газоходам котлоагрегата

Наименование	Топка, фестон	ПП	2-й В.Э	2-й ВП	1-й В.Э	1-й ВП
$V_{\text{в}}^{\circ} =$ , м <sup>3</sup> /кг; $V_{\text{H}_2\text{O}}^{\circ} =$ , м <sup>3</sup> /кг; $V_{\text{RO}_2} =$ , м <sup>3</sup> /кг; $V_{\text{N}_2}^{\circ} =$ , м <sup>3</sup> /кг; $V_{\text{r}}^{\circ} =$ , м <sup>3</sup> /кг						
Коэффициент избытка воздуха за газоходом, $\alpha$						
Среднее значение коэффициента избытка воздуха в газоходе, $\alpha_{\text{ср}}$						
Объем водяных паров в газоходе $V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^{\circ} + 0,0161 (\alpha_{\text{ср}} - 1) V_{\text{в}}^{\circ}$ , м <sup>3</sup> /кг						
Объем дымовых газов $V_{\text{r}} = V_{\text{r}}^{\circ} + 1,0161 (\alpha_{\text{ср}} - 1) V_{\text{в}}^{\circ}$ , м <sup>3</sup> /кг						
Объемная доля трехатомных газов $\gamma_{\text{RO}_2} = \frac{V_{\text{RO}_2}}{V_{\text{r}}}$						
Объемная доля водяных паров $\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\text{r}}}$						
Объемная доля трехатомных газов и водяных паров $\gamma_{\text{п}} = \gamma_{\text{H}_2\text{O}} + \gamma_{\text{RO}_2}$						
Концентрация золовых частиц $\mu_{\text{зп}} = \frac{A^{\text{r}} \cdot a_{\text{ун}}}{100 \cdot G_{\text{r}}}$ , где						
масса дымовых газов $G_{\text{r}} = 1 - \frac{A^{\text{r}}}{100} + 1,306 \cdot \alpha_{\text{ср}} \cdot V_{\text{в}}^{\circ}$ , кг/кг $a_{\text{ун}} =$ (см. табл. 8 Приложения 1).						

Таблица 2

## Энтальпии продуктов сгорания по газоходам котлоагрегата

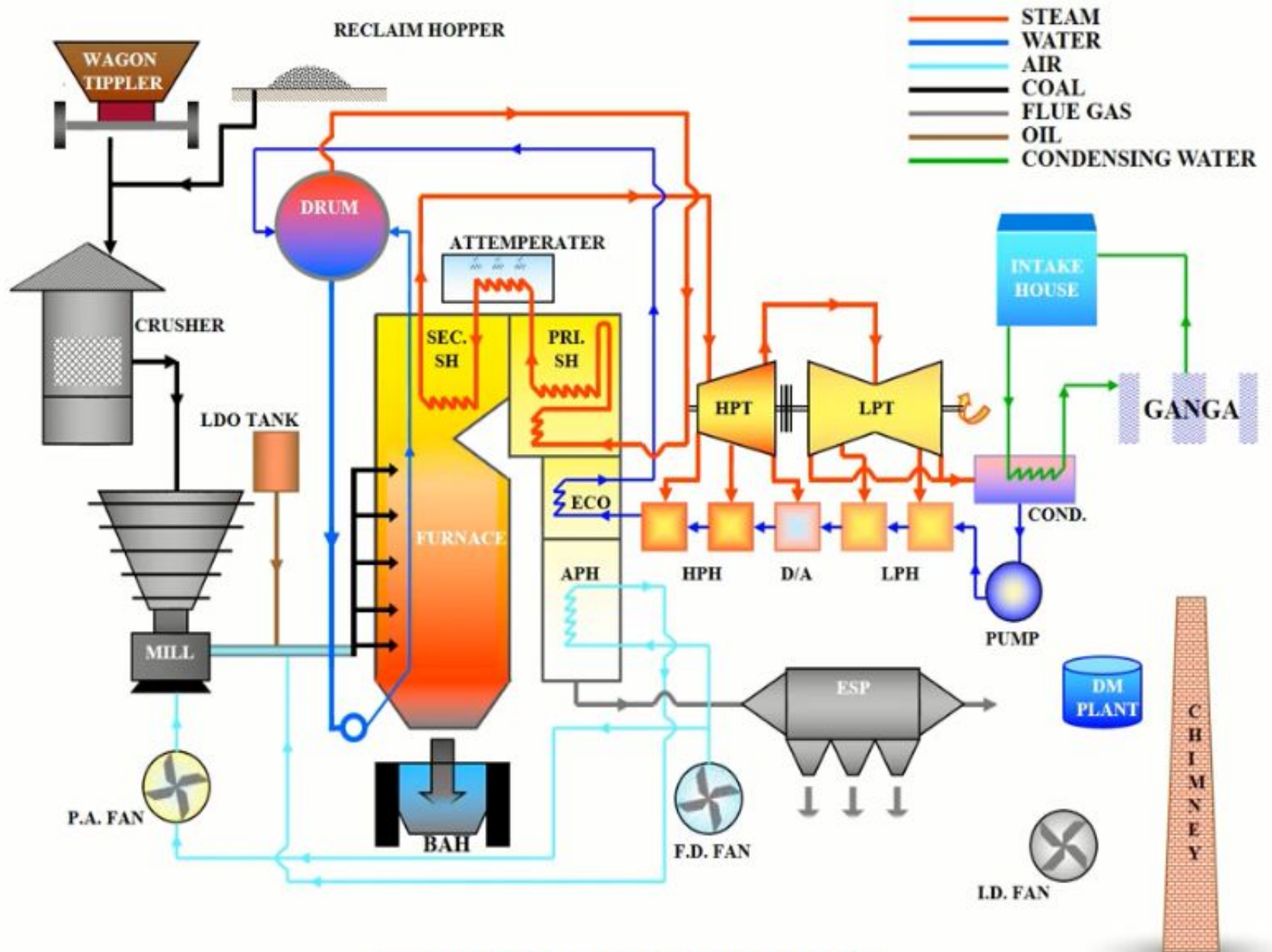
θ	I <sub>г</sub> <sup>0</sup>	I <sub>в</sub> <sup>0</sup>	I <sub>г</sub> = I <sub>г</sub> <sup>0</sup> + (α - 1) I <sub>в</sub> <sup>0</sup> ;     ΔI = I <sub>г(θ+100)</sub> - I <sub>г</sub>													
			топка		ПП		2-й В.Э		2-й ВП		1-й В.Э		1-й ВП			
			I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI		
100			x		x		x		x		x		x			
200			x		x		x		x							
300			x		x											
400			x		x										x	
500			x											x	x	
600			x											x	x	
700			x					x	x	x	x	x	x	x	x	
800								x	x	x	x	x	x	x	x	
900								x	x	x	x	x	x	x	x	
1000								x	x	x	x	x	x	x	x	
1100					x			x	x	x	x	x	x	x	x	
1200			x		x			x	x	x	x	x	x	x	x	
1300			x		x			x	x	x	x	x	x	x	x	
1400			x		x			x	x	x	x	x	x	x	x	
1500			x		x			x	x	x	x	x	x	x	x	
1600			x		x			x	x	x	x	x	x	x	x	
1700					x			x	x	x	x	x	x	x	x	
1800					x			x	x	x	x	x	x	x	x	
1900					x			x	x	x	x	x	x	x	x	
2000					x			x	x	x	x	x	x	x	x	
2100					x			x	x	x	x	x	x	x	x	
2200					x			x	x	x	x	x	x	x	x	

## Примечание

Определение энтальпии газов  $I_g = I_{g_0} + \frac{\Delta I}{100} (\theta - \theta_0)_{\text{кДж/кг}}$ ;

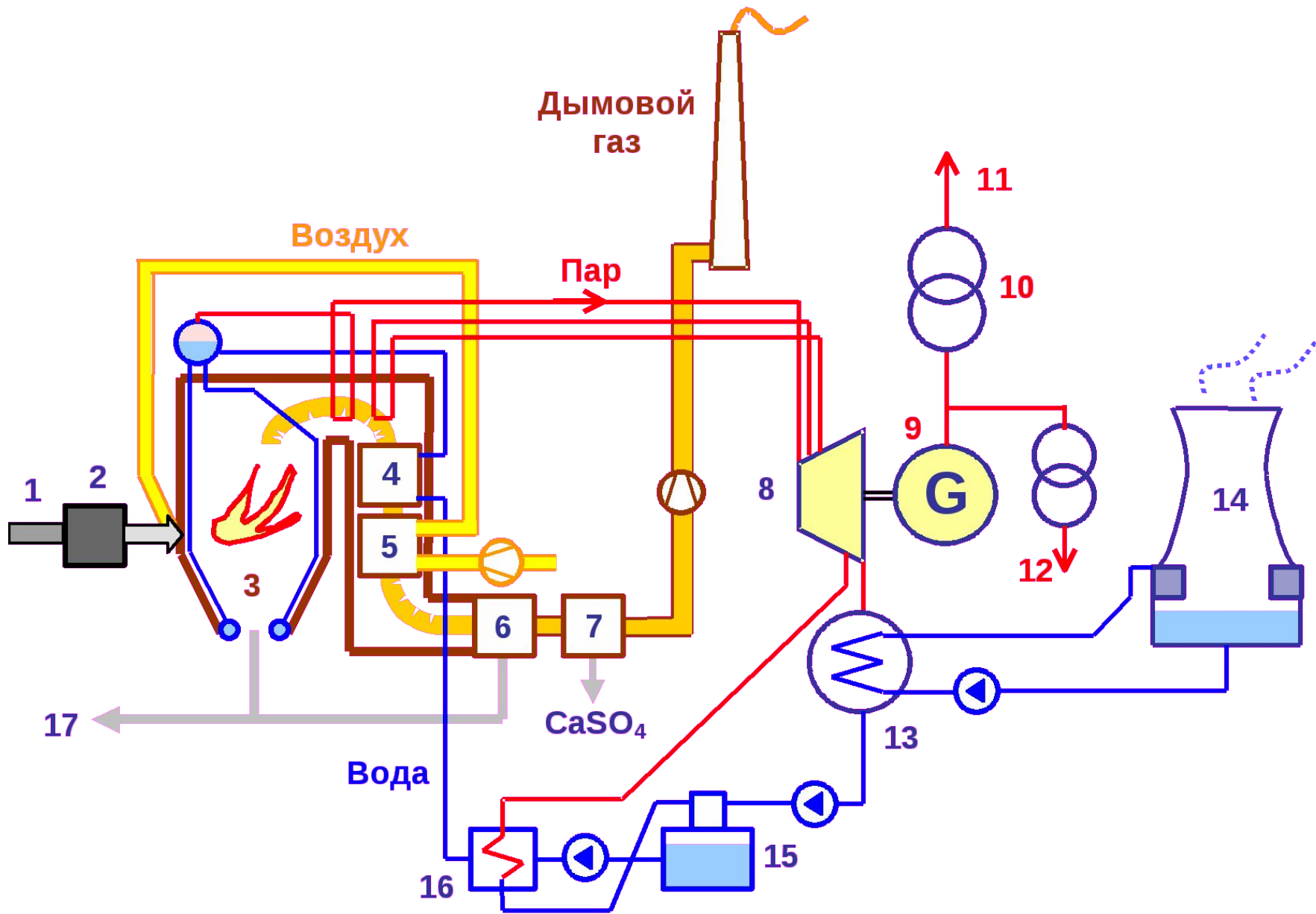
определение температуры газов  $\theta = \frac{I_g - I_{g_0}}{\Delta I} \cdot 100 + \theta_{0, \text{в}}$ , °С,

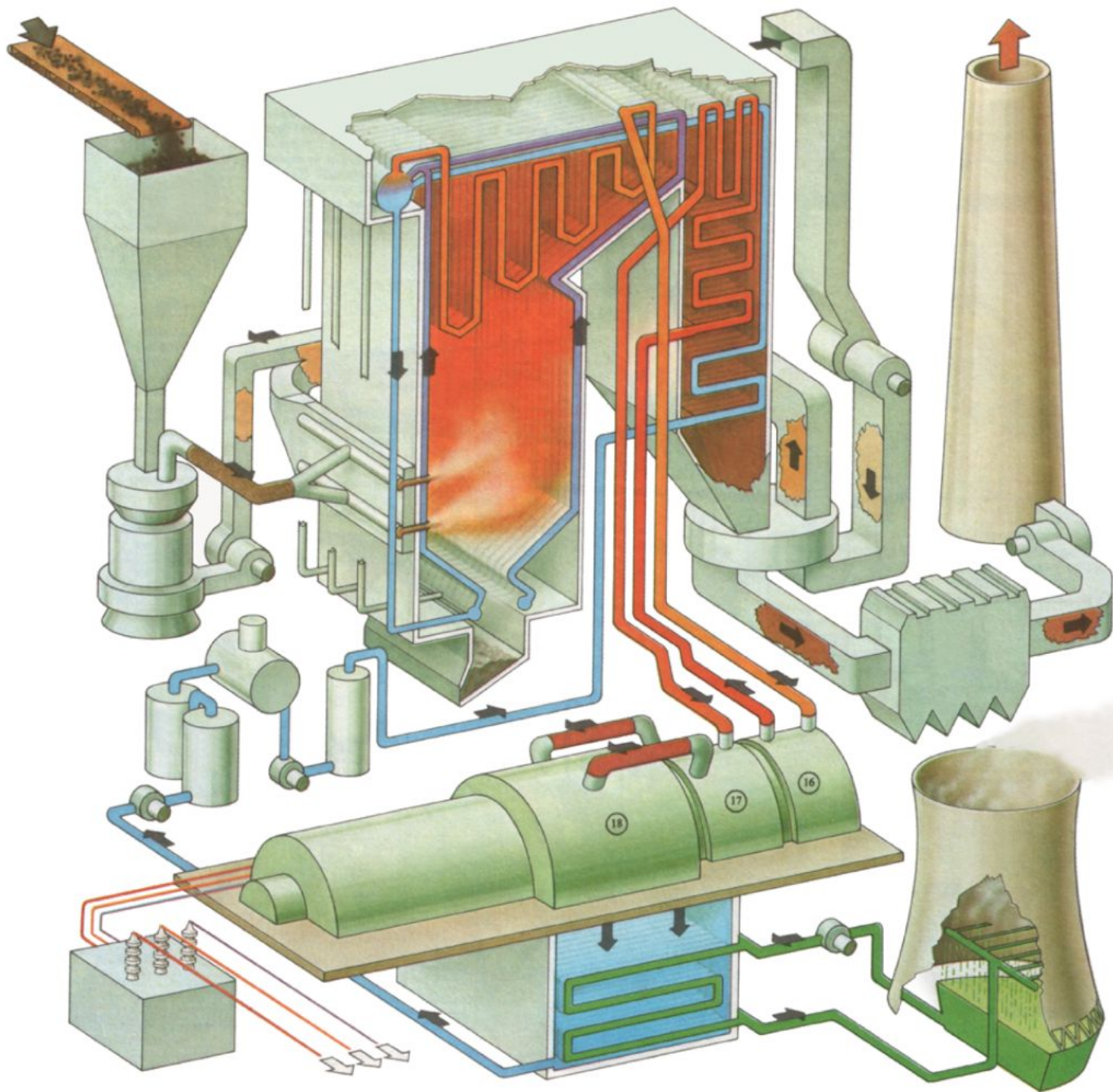
где  $I_g$  - энтальпия газов при температуре  $\theta$ ;  $I_{g_0}$  - энтальпия газов при температуре ближайшей меньшей по данной таблице;  $\theta_0$  - ближайшее меньшее значение температуры газов.



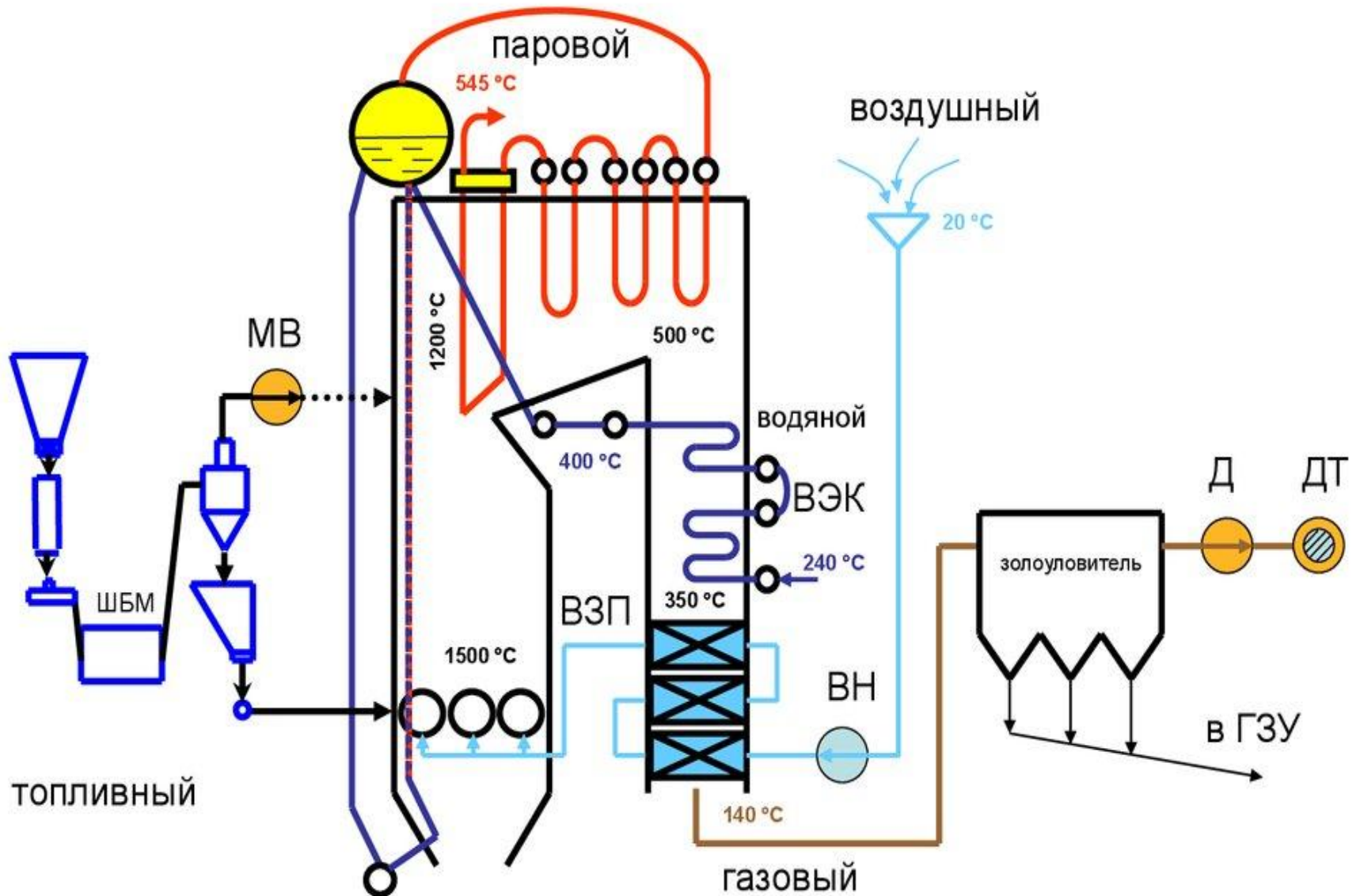
**FROM COAL TO ELECTRICITY**

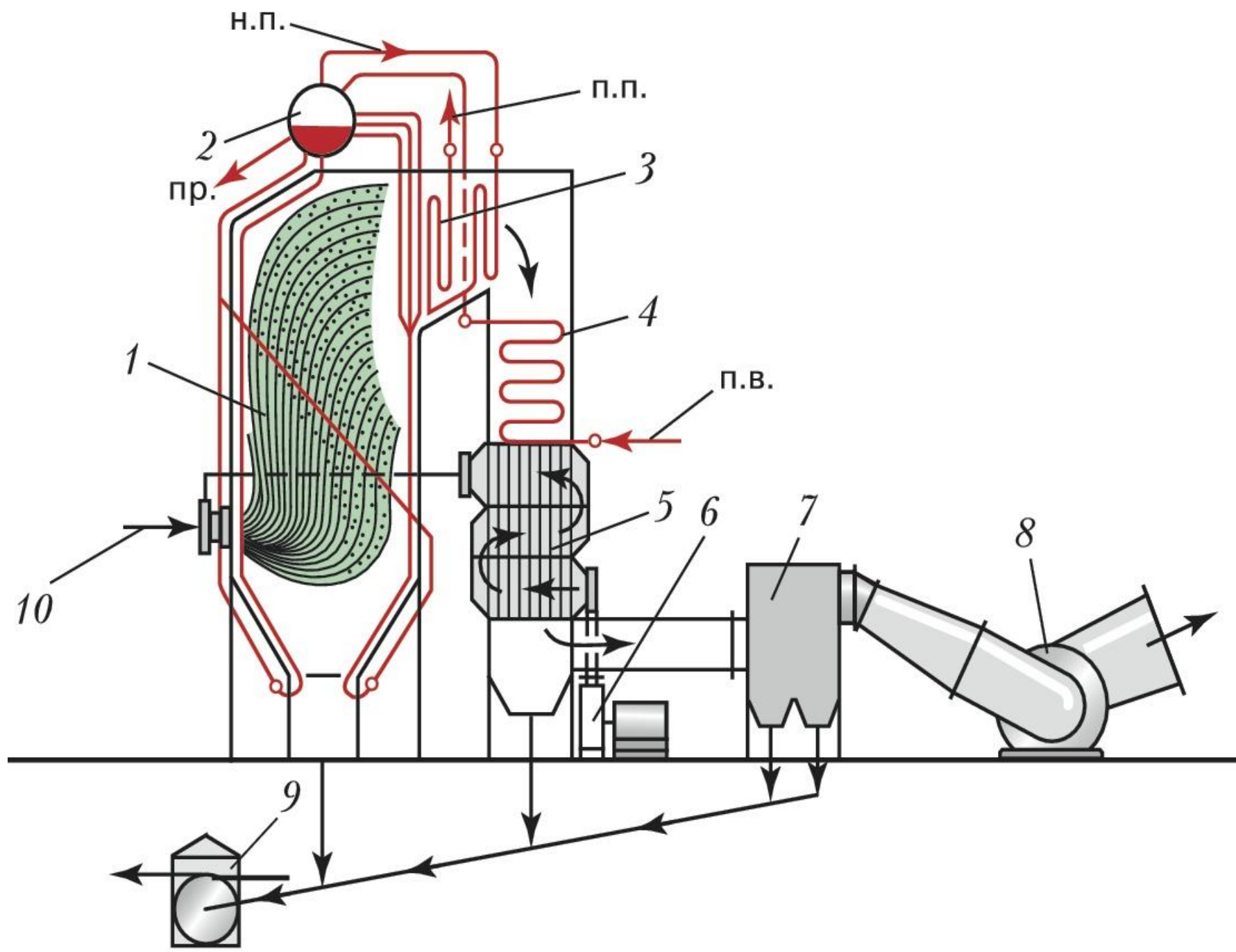


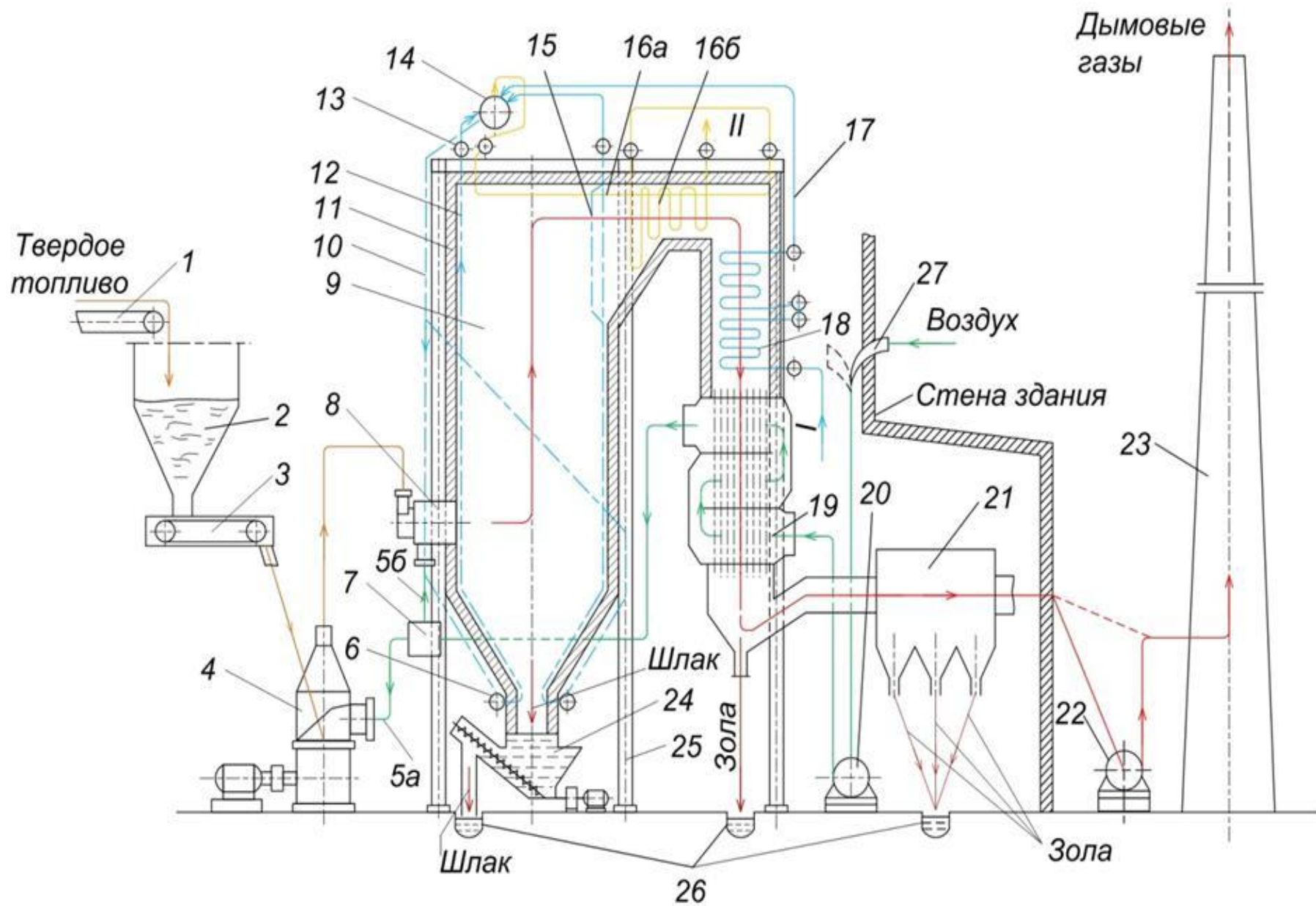


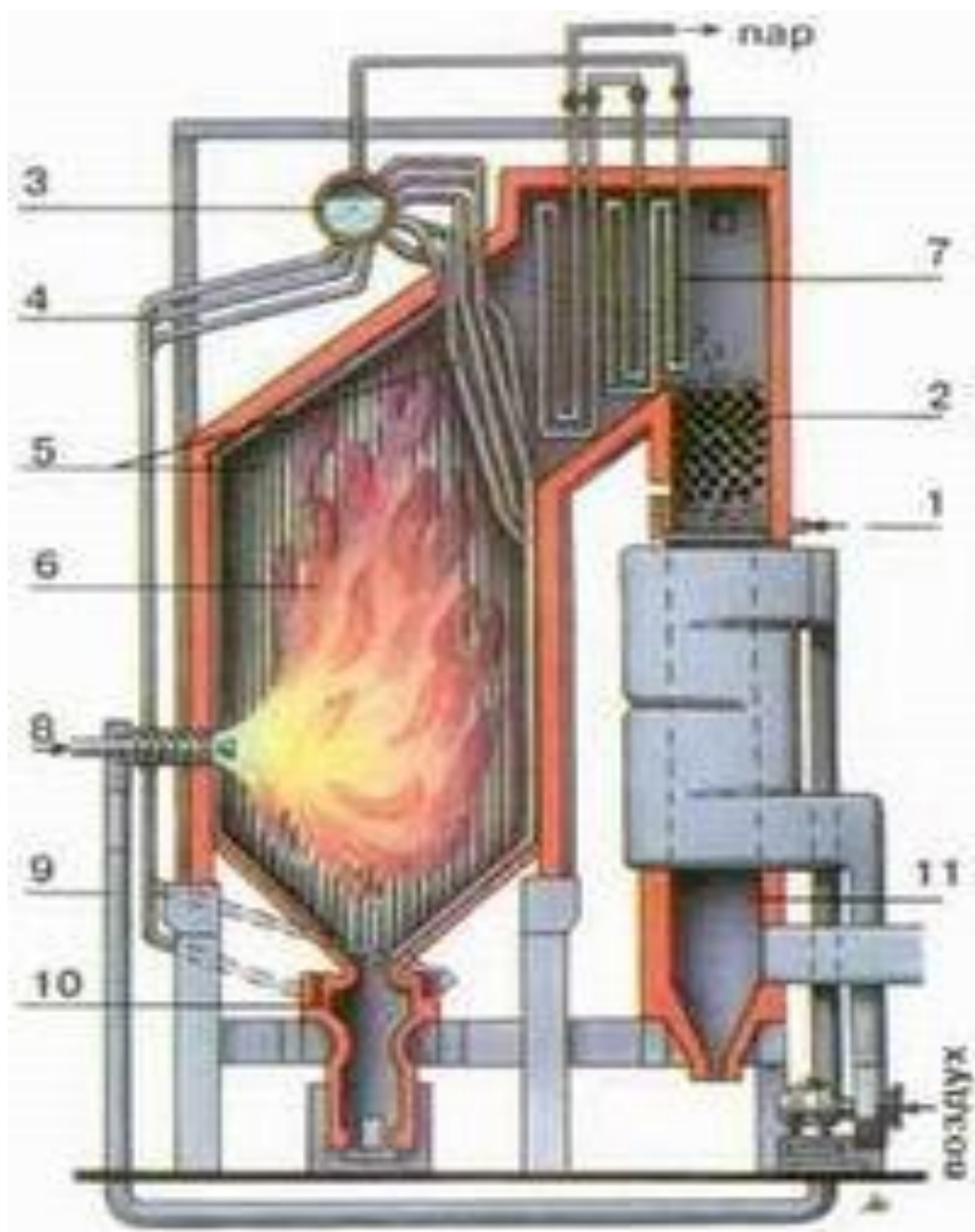


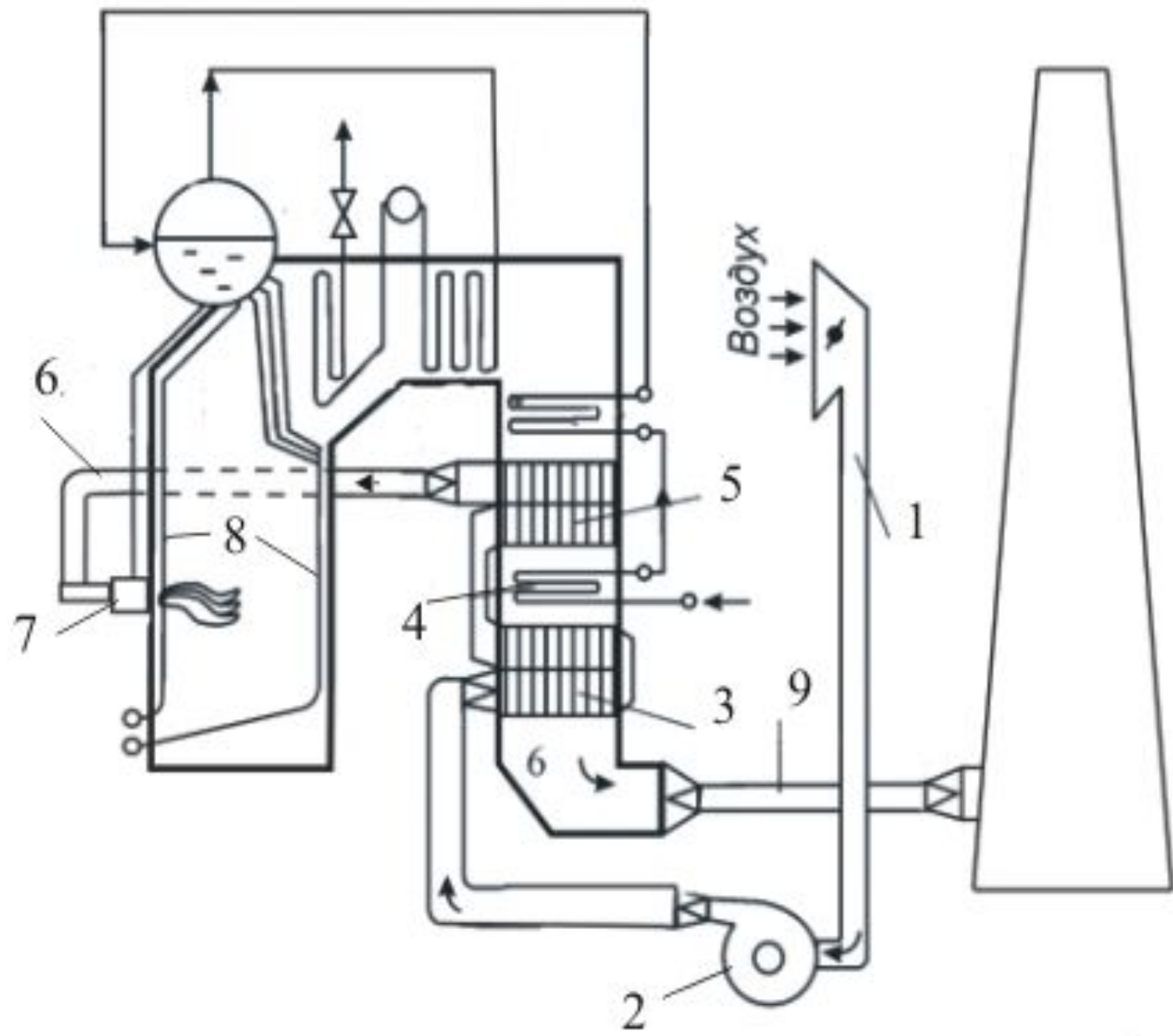
# Тракты котла

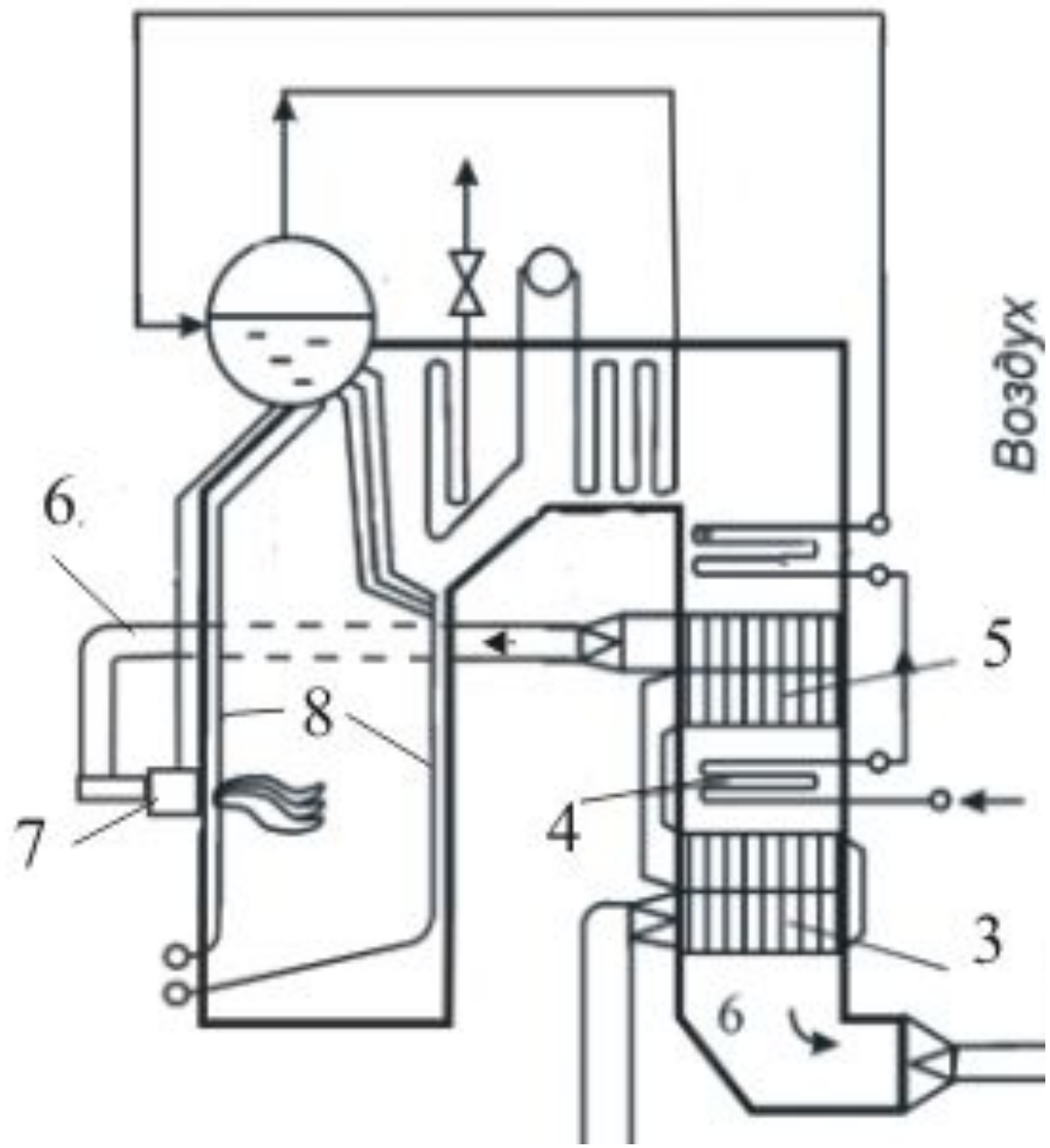




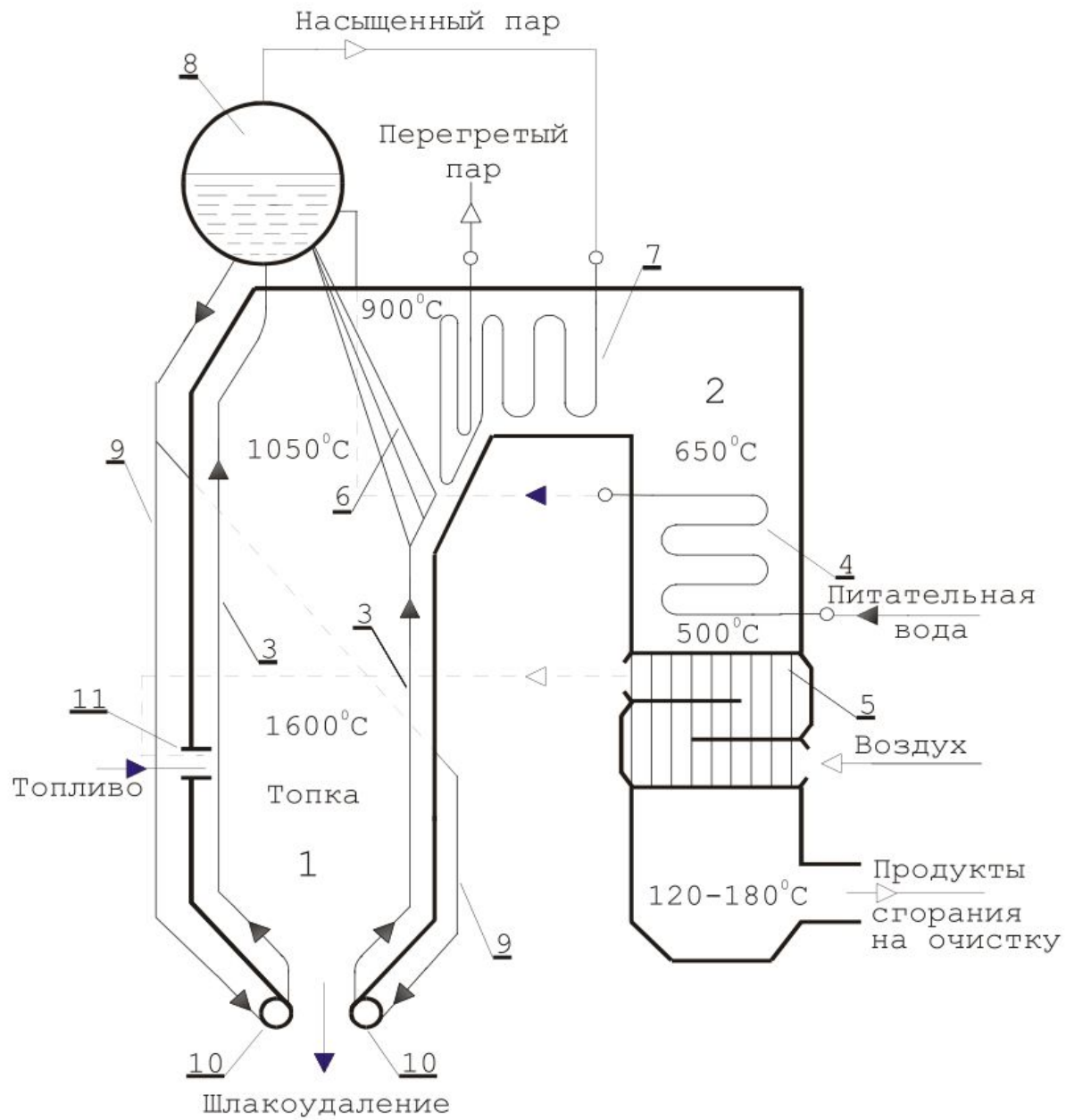


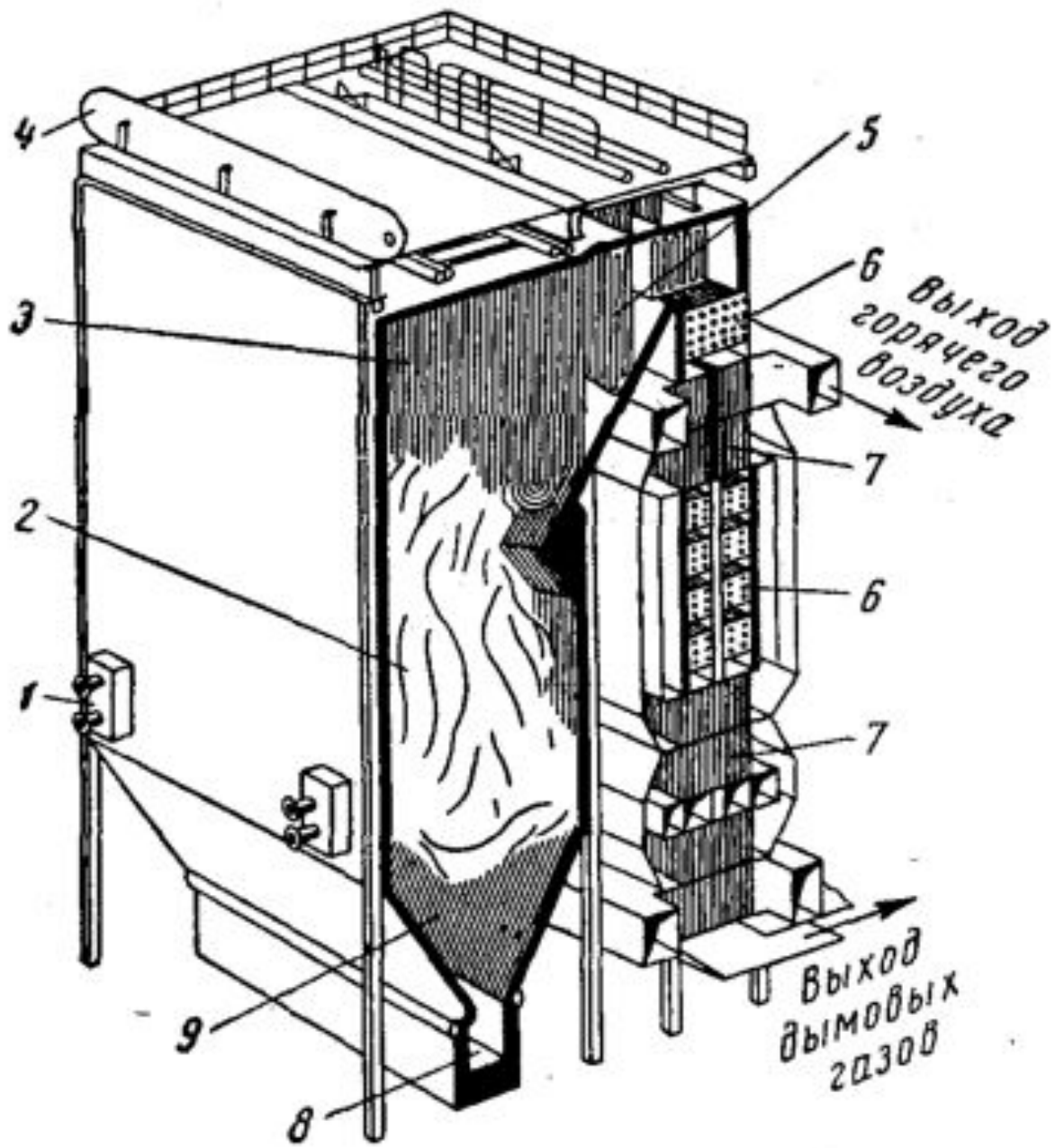


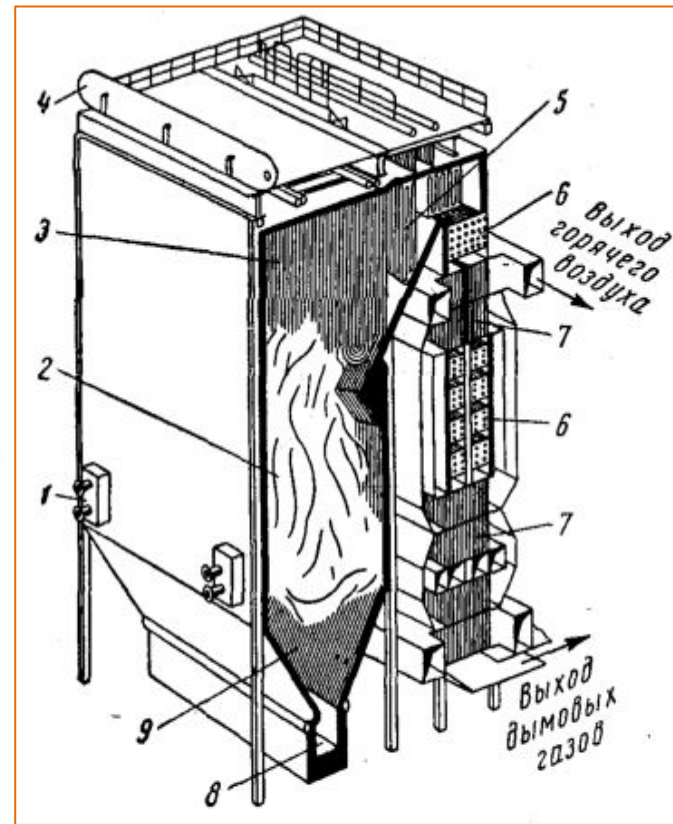
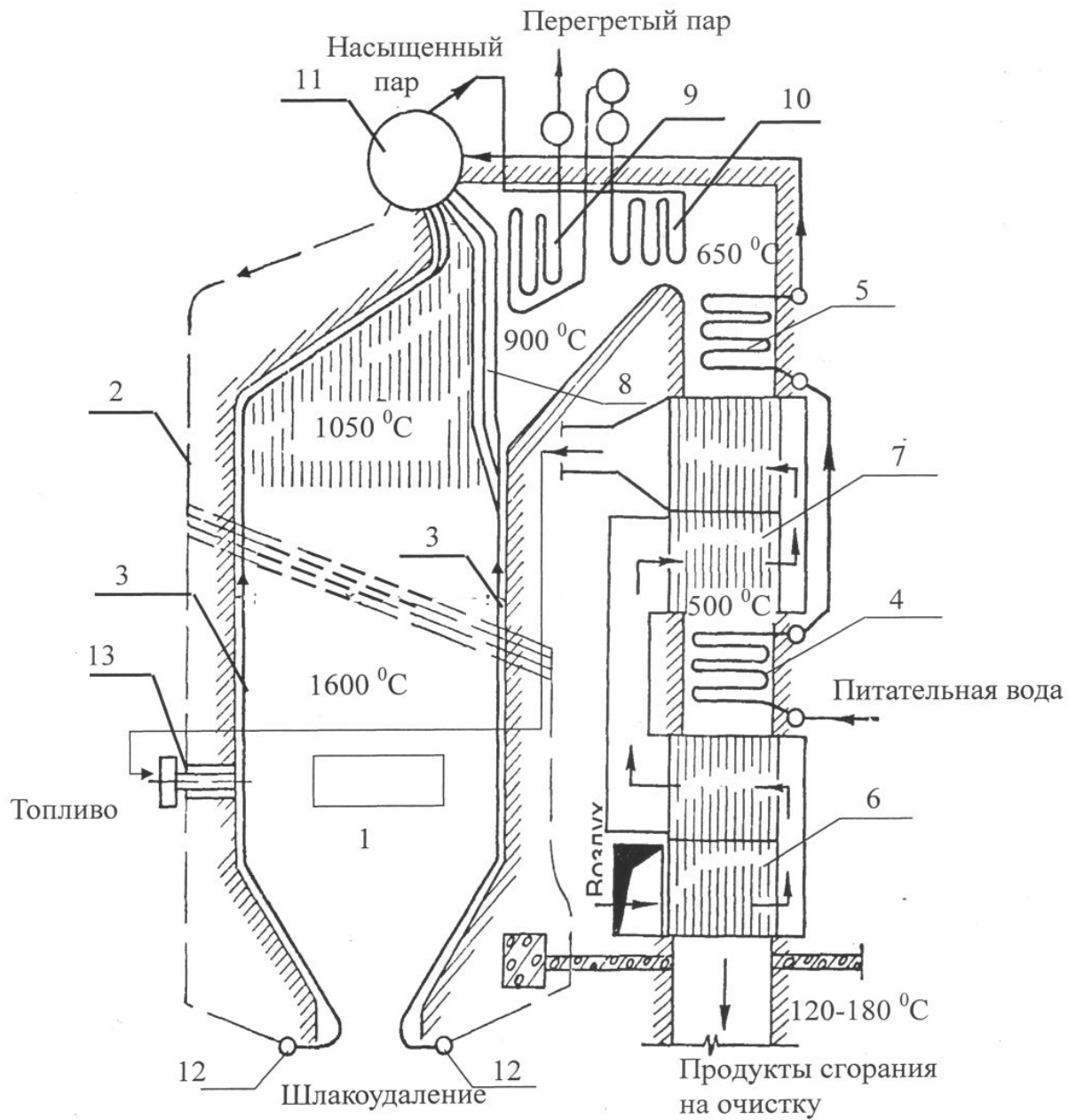


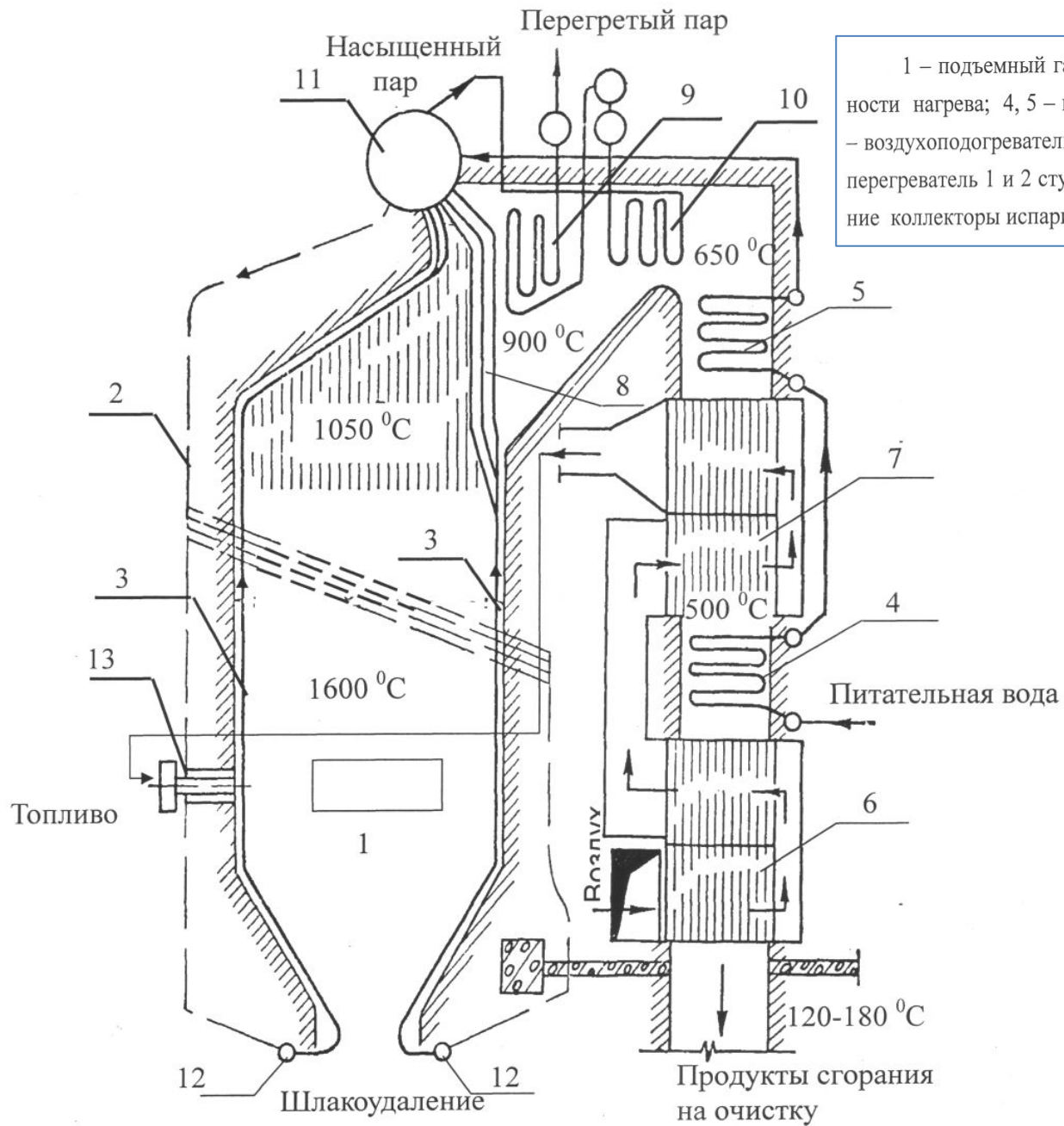






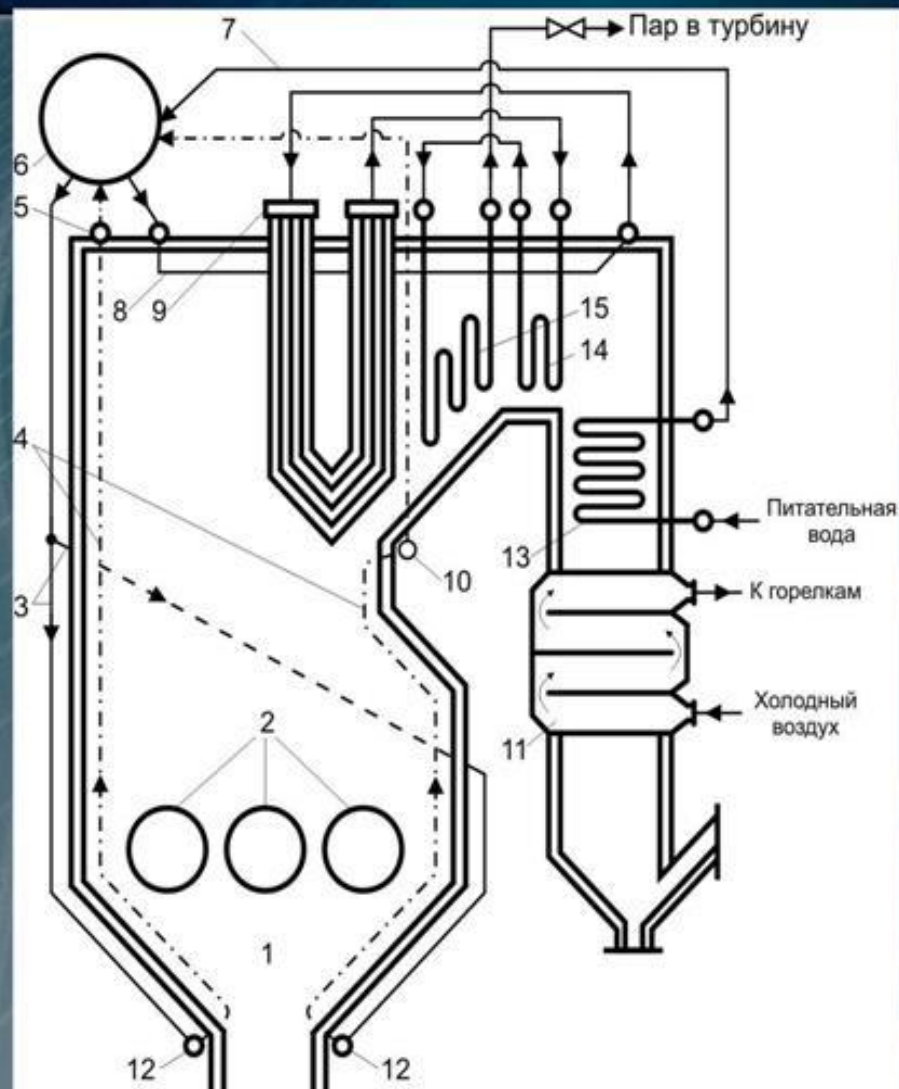






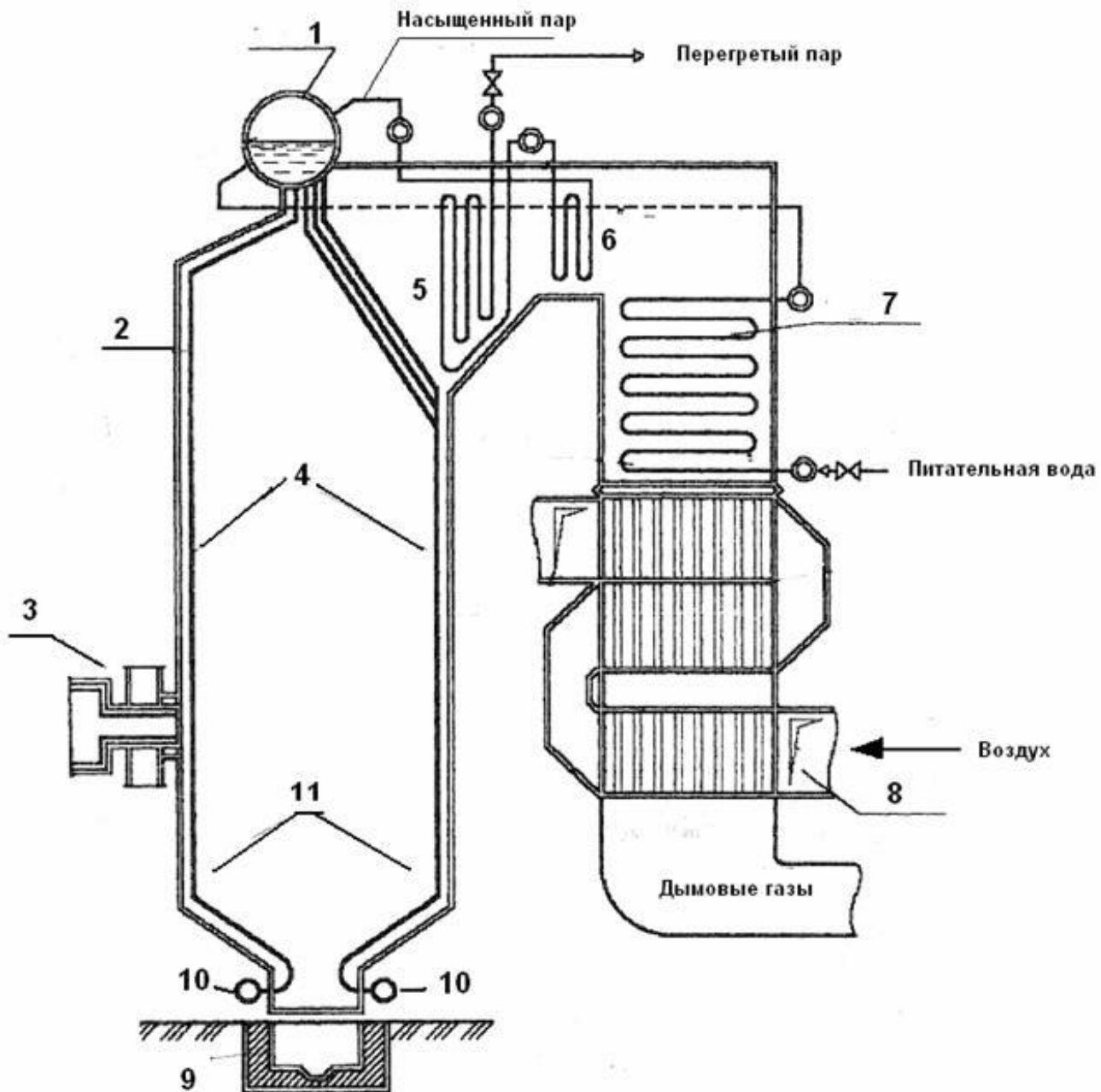
1 – подъемный газоход; 2 – опускные трубы; 3 – испарительные поверхности нагрева; 4, 5 – водяной экономайзер 1 и 2 ступень соответственно; 6, 7 – воздухоподогреватель 1 и 2 ступень соответственно; 8 – фестон; 9, 10 – пароперегреватель 1 и 2 ступень соответственно; 11 – барабан-сепаратор; 12 – нижние коллекторы испарительных поверхностей; 13 – горелки.

# Принципиальная схема барабанного парового котла с естественной циркуляцией

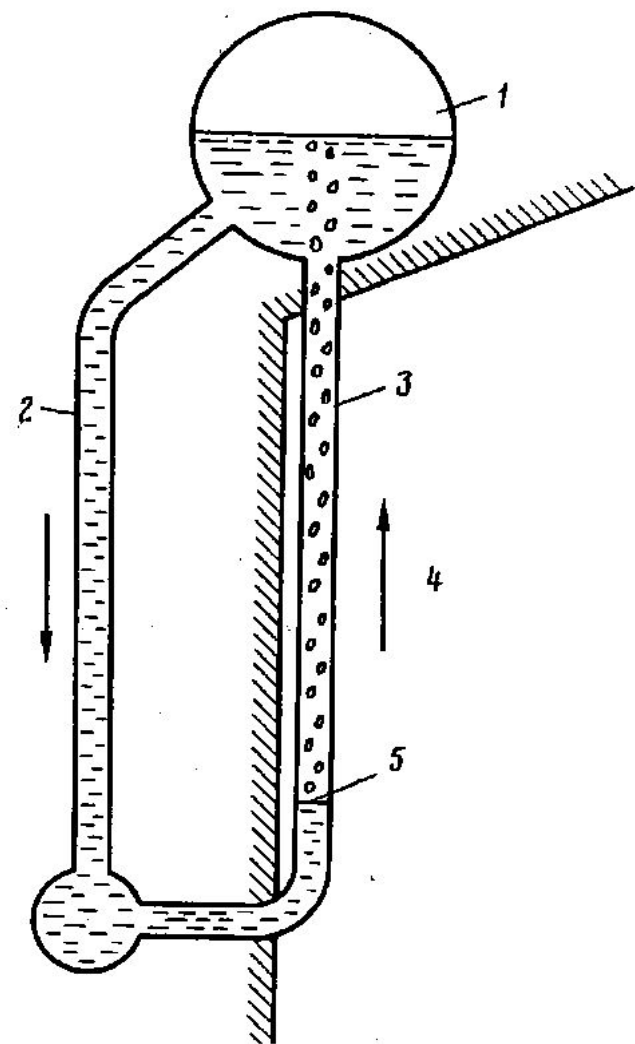
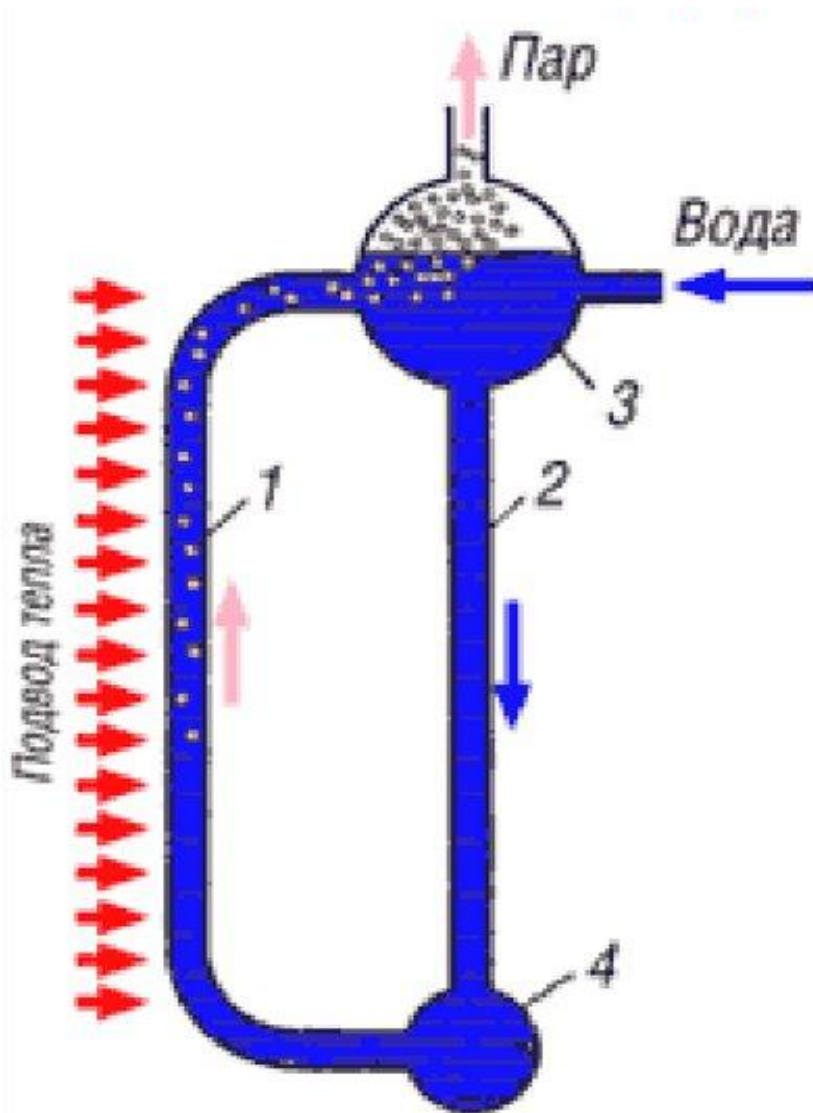


- 1 – топочная камера;
- 2 – горелки;
- 3 – опускные трубы;
- 4 – топочные экраны;
- 5 – верхние коллектора;
- 6 – барабан;
- 7 – отводящие трубы;
- 8 – радиационный потолочный пароперегреватель;
- 9 – ширмовый пароперегреватель;
- 10 – верхний коллектор заднего экрана;
- 11 – воздухоподогреватель;
- 12 – нижние коллекторы топочных экранов;
- 13 – экономайзер;
- 14 – первая по ходу пара ступени конвективного пароперегревателя;
- 15 – вторая по ходу пара ступени конвективного пароперегревателя



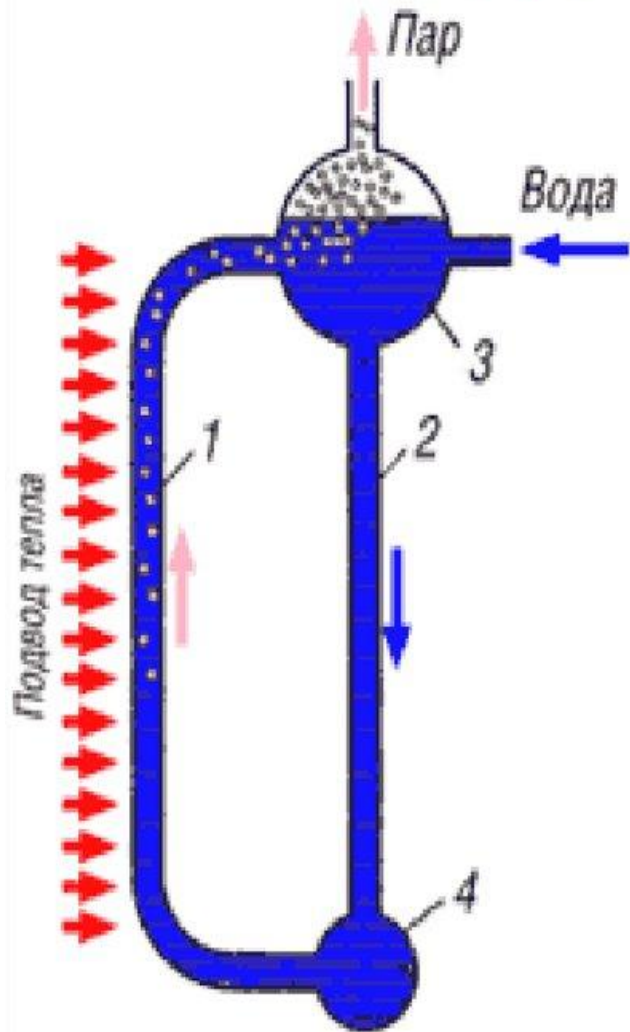


# Принцип естественной циркуляции





## Естественная циркуляция в барабанном паровом котле

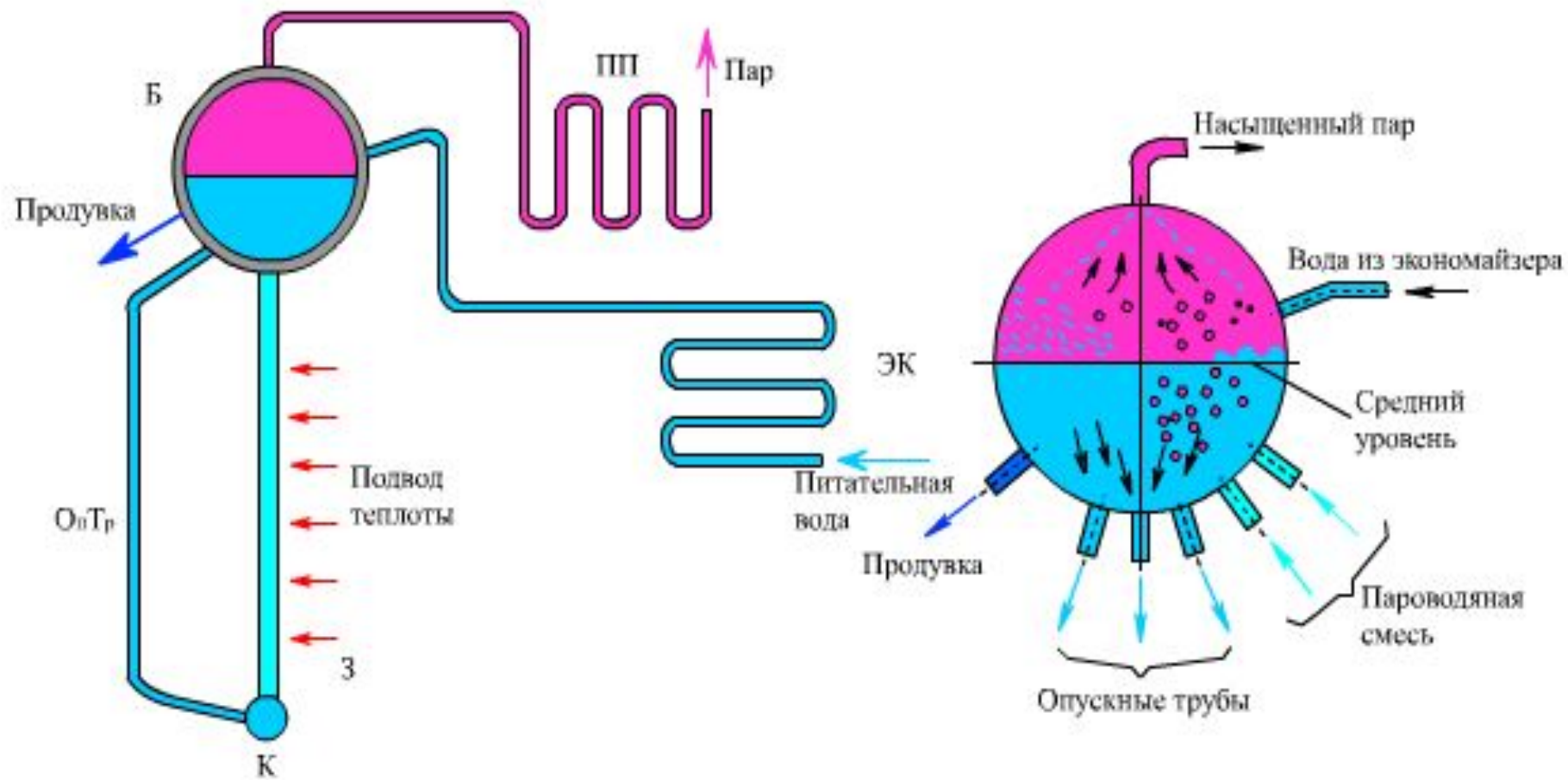


Замкнутый циркуляционный контур состоит из **барабана 3** и **коллектора 4**, соединенных между собой **подъемной 1** и **опускной 2** трубами.

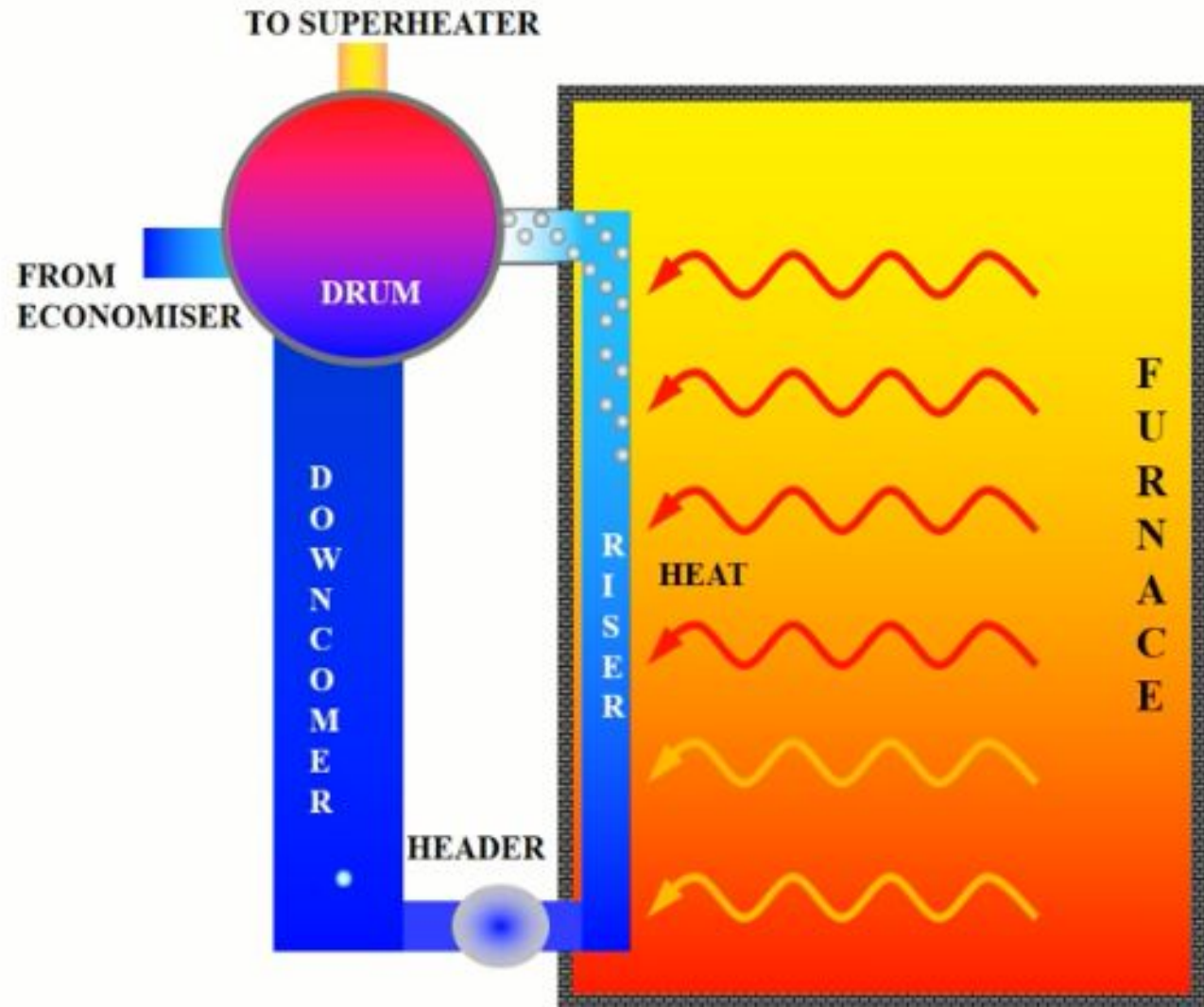
При подводе теплоты к подъемной трубе вода в ней частично испаряется и образуется пароводяная смесь, плотность которой значительно меньше плотности воды в необогреваемой опускной трубе.

В результате этого в замкнутом контуре создается напор, благодаря которому вода и пароводяная смесь приходят в движение: вода движется вниз к коллектору, а смесь - вверх в барабан, где пар отделяется от воды.

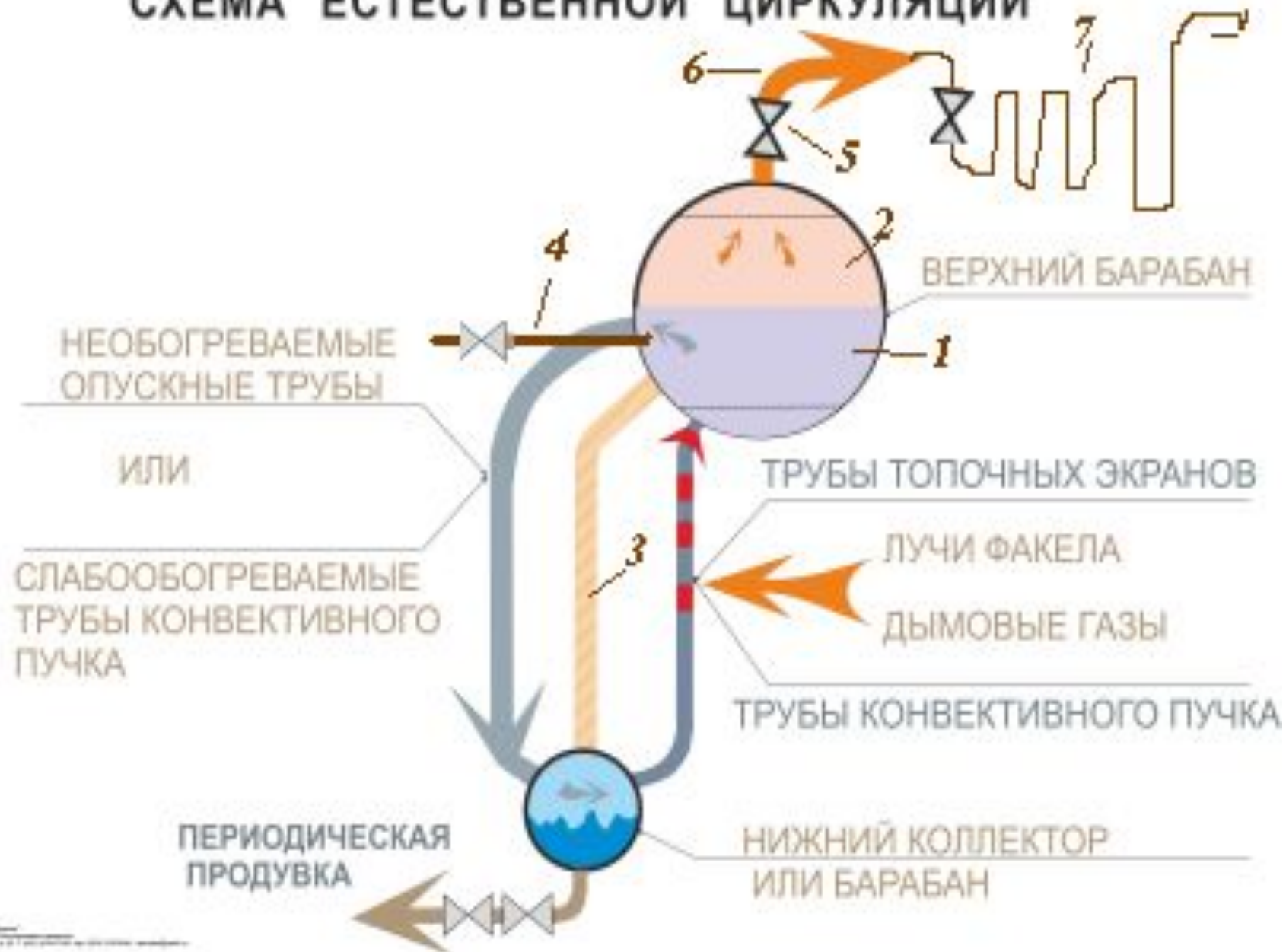
В котлах большей мощности используется **принудительная циркуляция** воды с помощью специальных насосов.

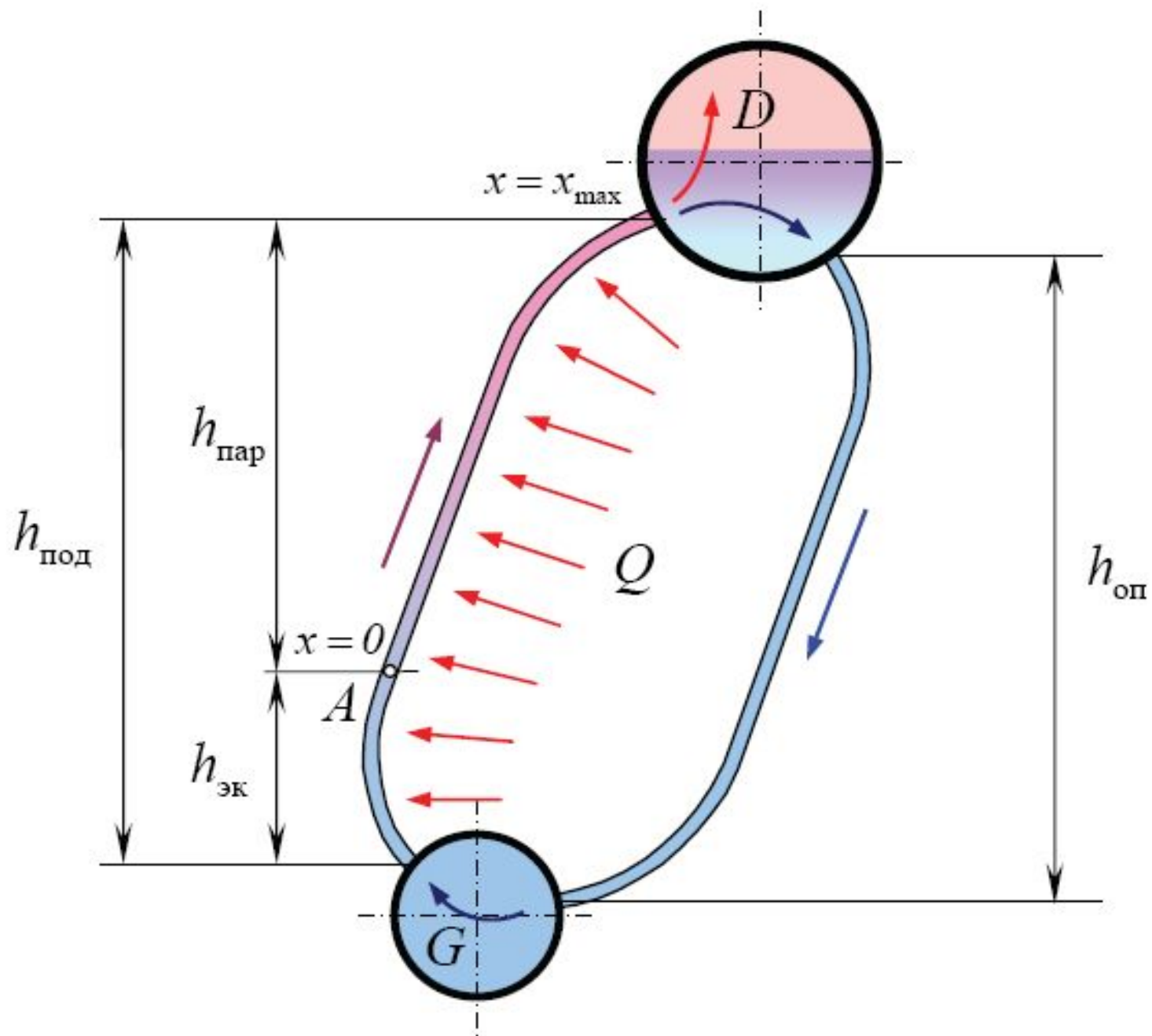


# NATURAL CIRCULATION



# СХЕМА ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ





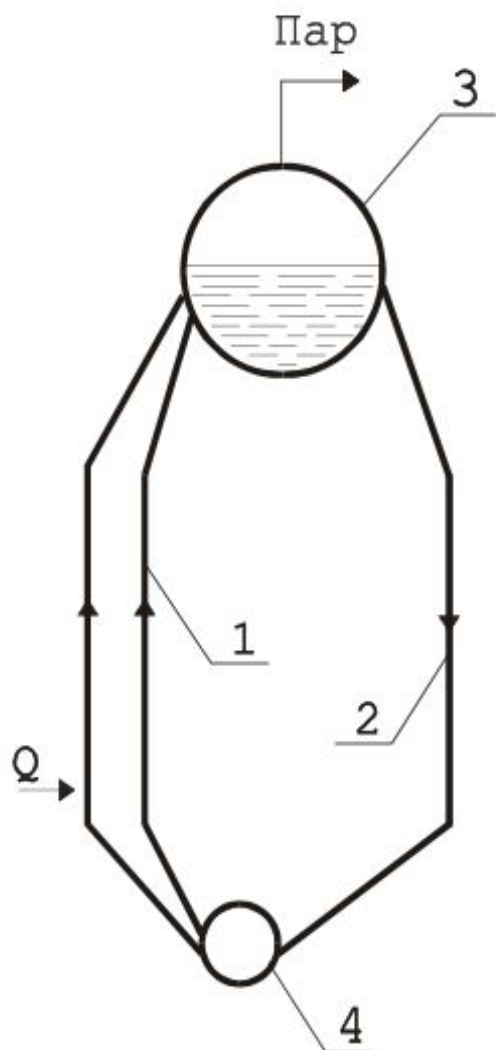


Схема  
естественной  
циркуляции

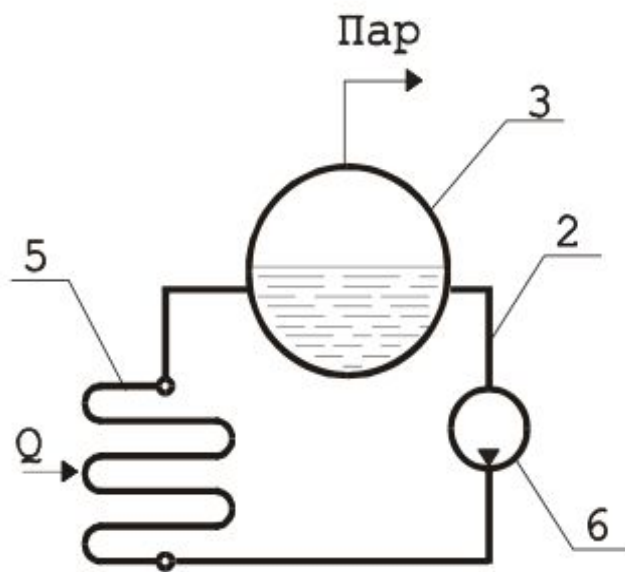


Схема  
принудительной  
циркуляции

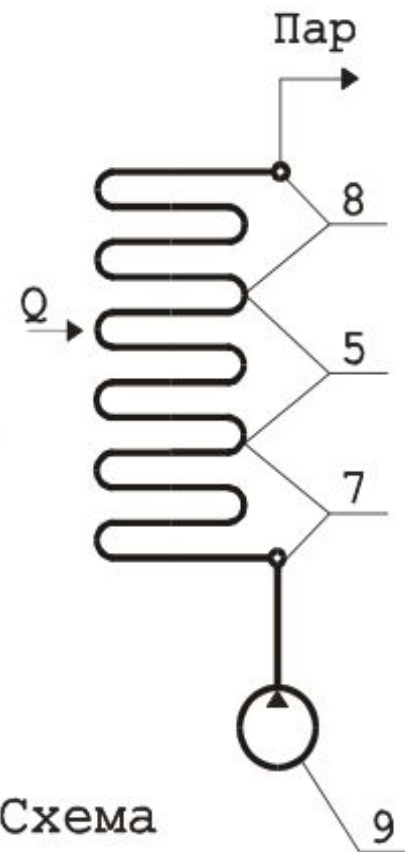
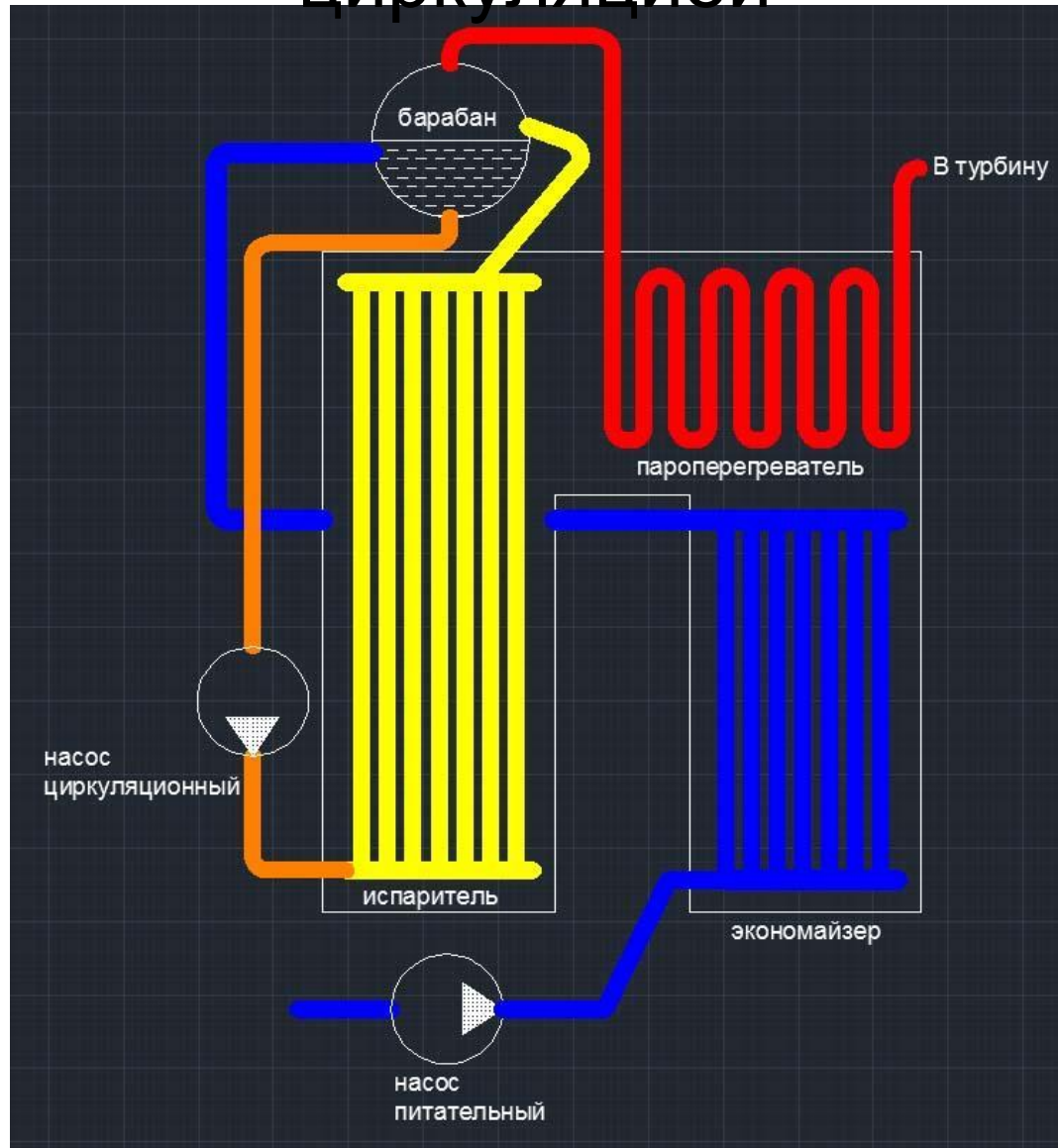
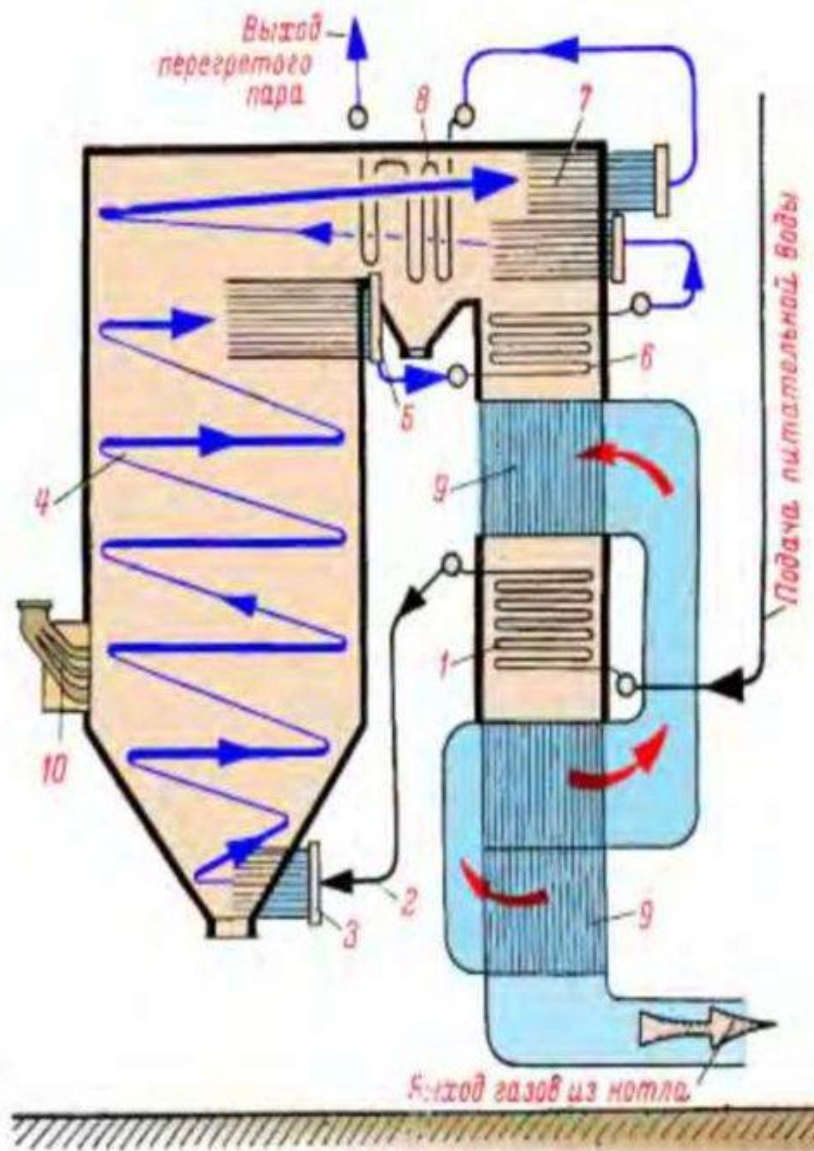


Схема  
прямоточного  
движения

# Барабанный котёл с вынужденной циркуляцией

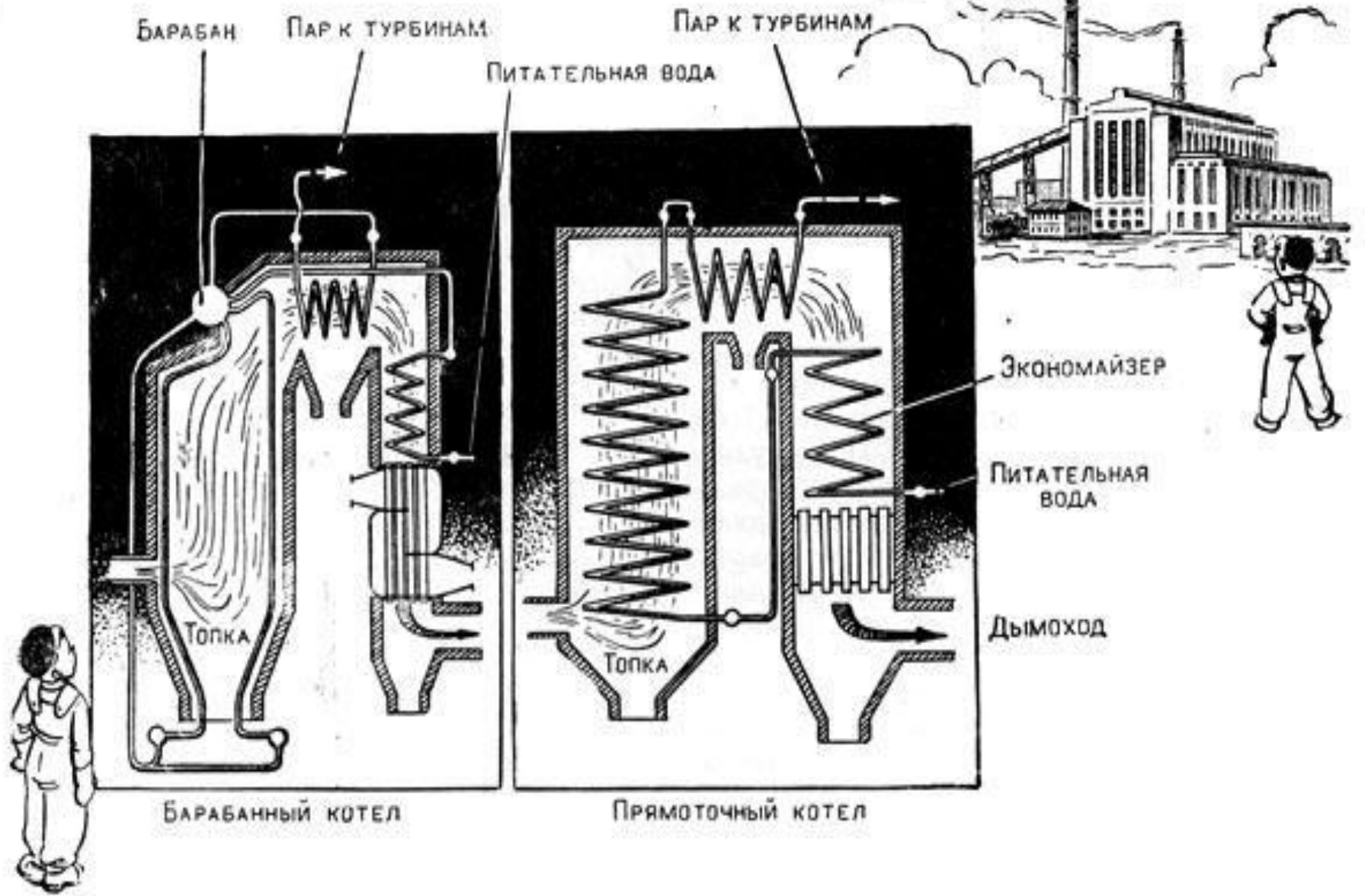


## Прямоточный котел Рамзина



1 - экономайзер; 2 - перепускные необогреваемые трубы; 3 - нижняя экранная камера; 4 - экранные трубы; 5 - верхняя экранная камера; 6 - переходная зона; 7 - настенная часть пароперегревателя; 8 - конвективная часть пароперегревателя; 9 - воздухоподогреватель; 10 - горелки.





# Маркировка паровых котлов

***E – 420 – 140 ГМ***

**ГМ** – газомазутный  
**Г** – газ  
**М** – мазут  
**Ж** – с жидким  
шлакоудалением  
**В** – вихревая топка  
**Ц** – циклонная топка  
**Р** – решетка  
**Н** – наддув  
...

Паропроизводительность, т/ч

**П** – прямоточный  
**Е** – с естественной циркуляцией  
**Пр** – с принудительной циркуляцией  
**Пп** – прямоточный  
с промежуточным перегревом  
**Еп** – с естественной циркуляцией и  
с промежуточным перегревом

Давление пара, кгс/см<sup>2</sup>

# Экранные трубы









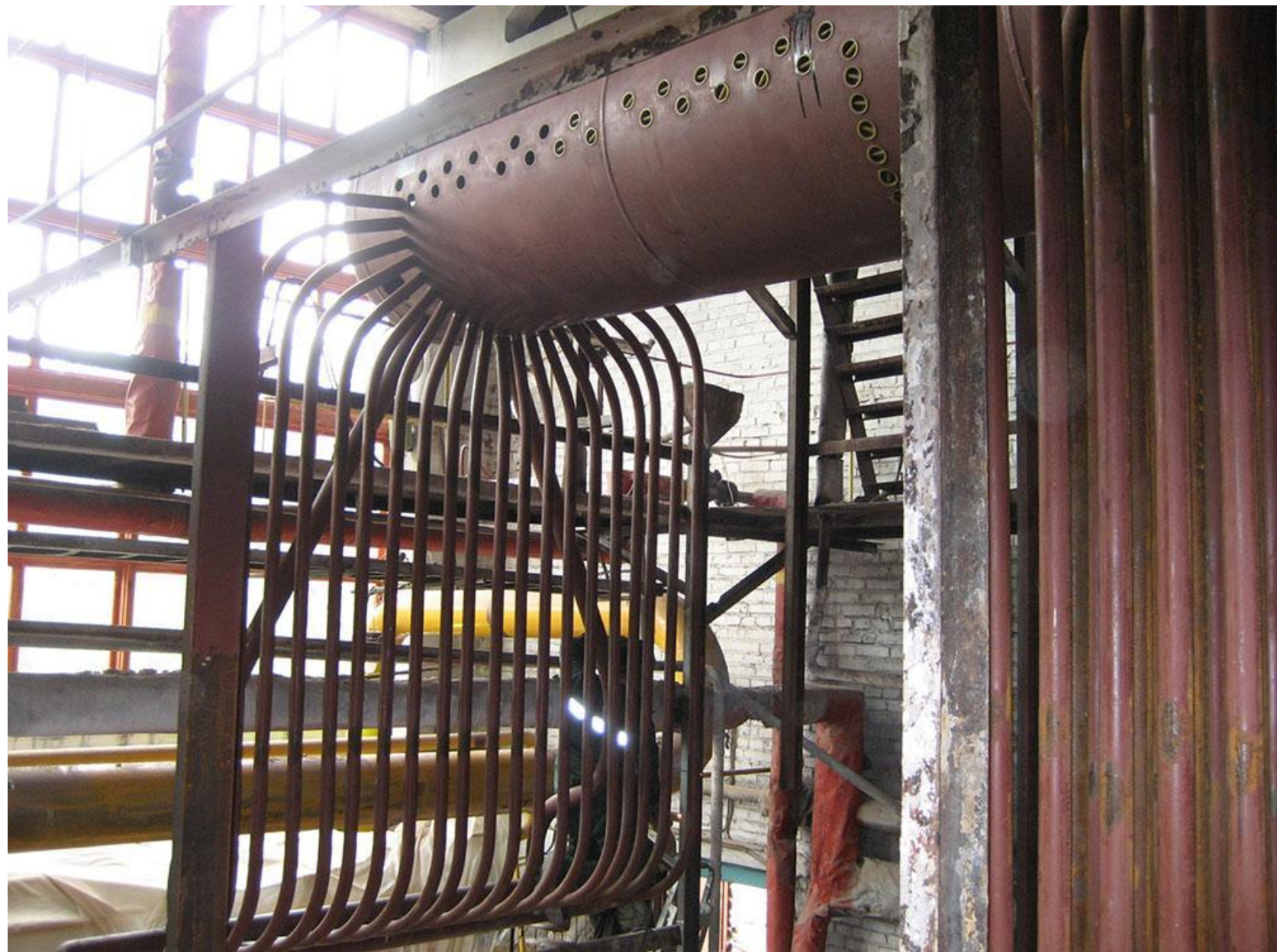



# Барабан











Котельный  
пучок

18/12/2013



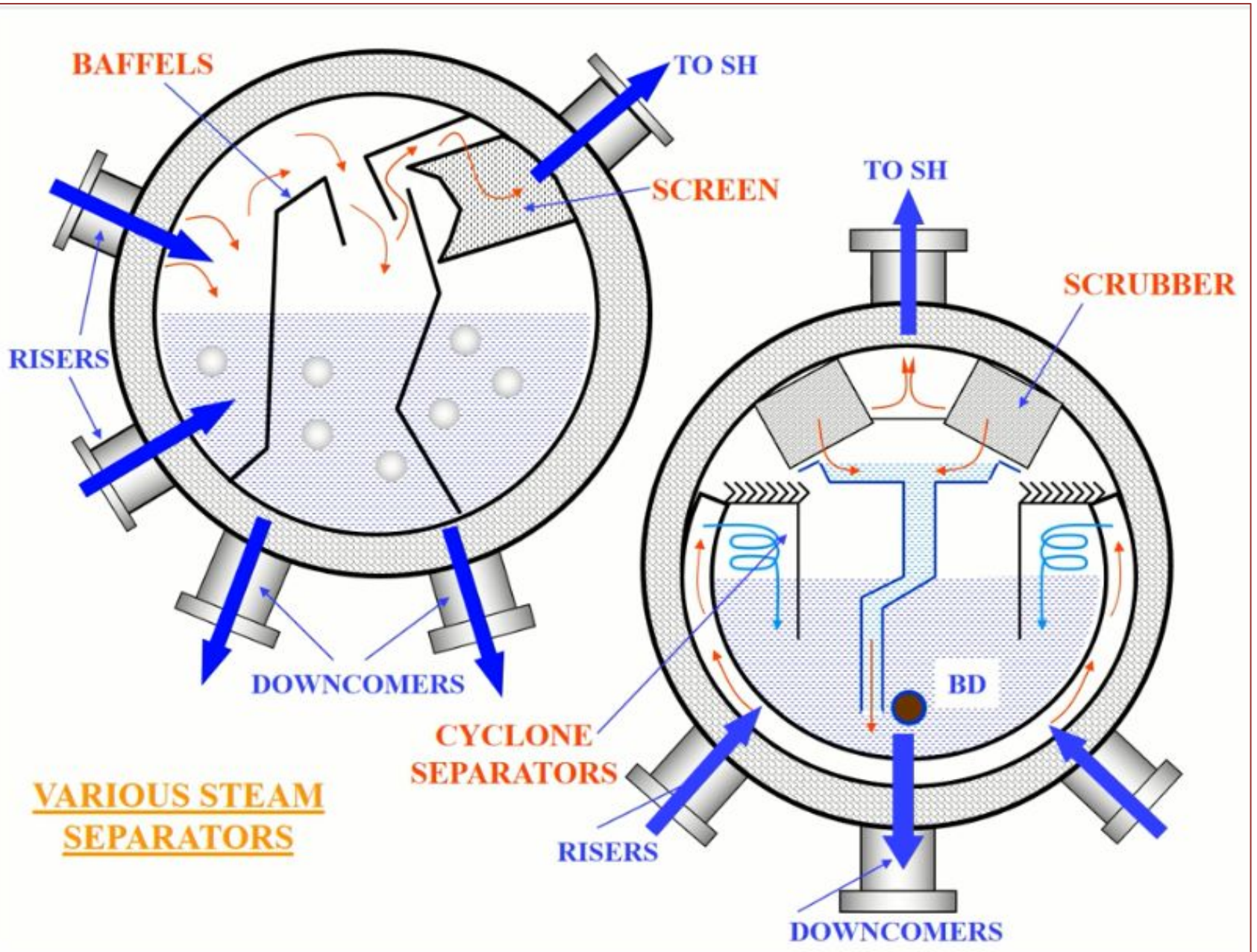




ГРУППА КОМПАНИЙ

ГАРАНТ

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ОБРУДОВАНИЯ



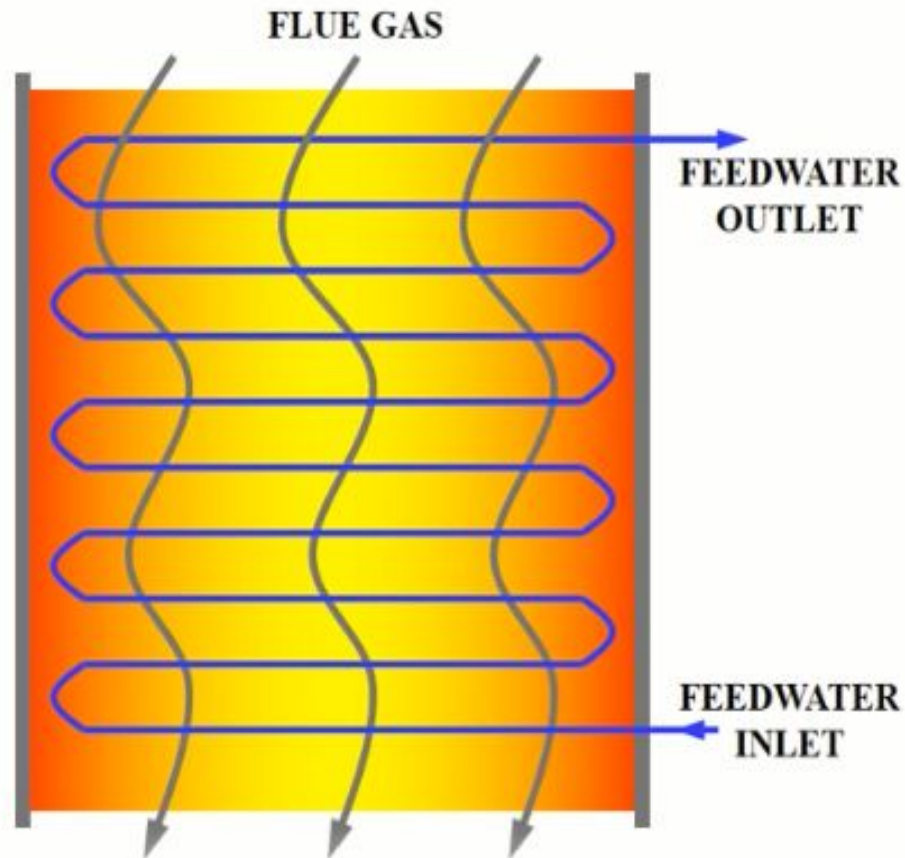
# Конвективный пароперегреватель



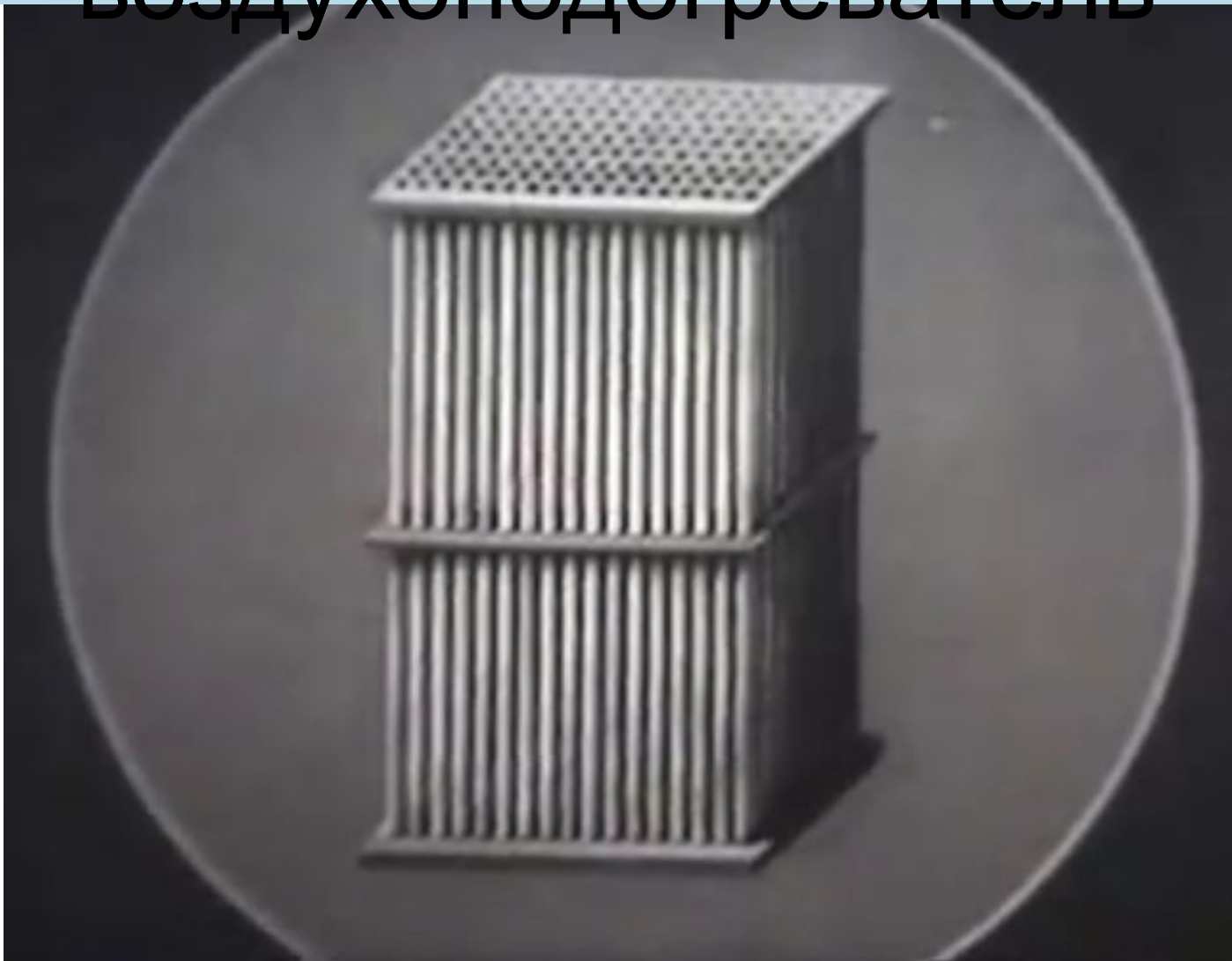


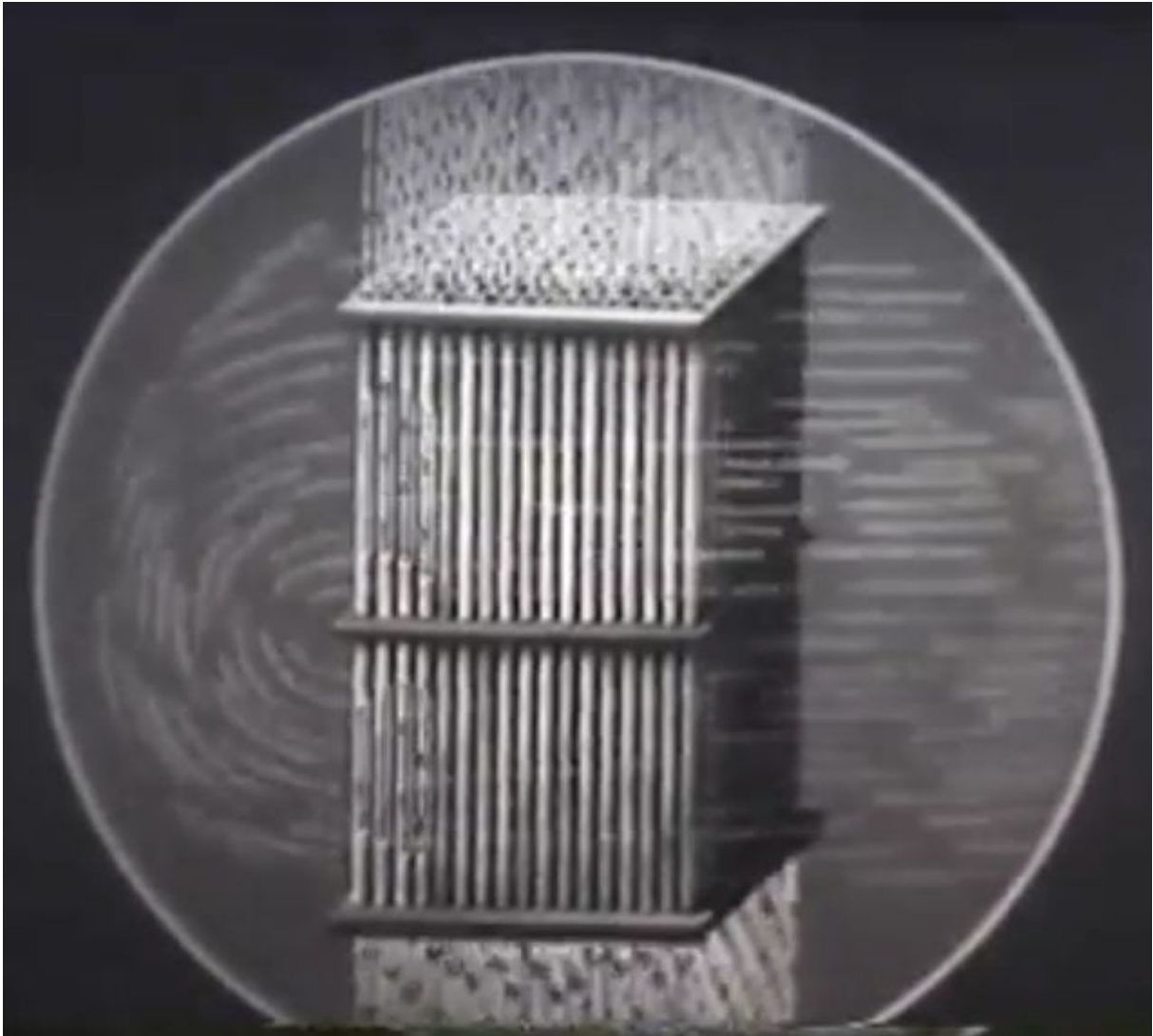
## ECONOMISER

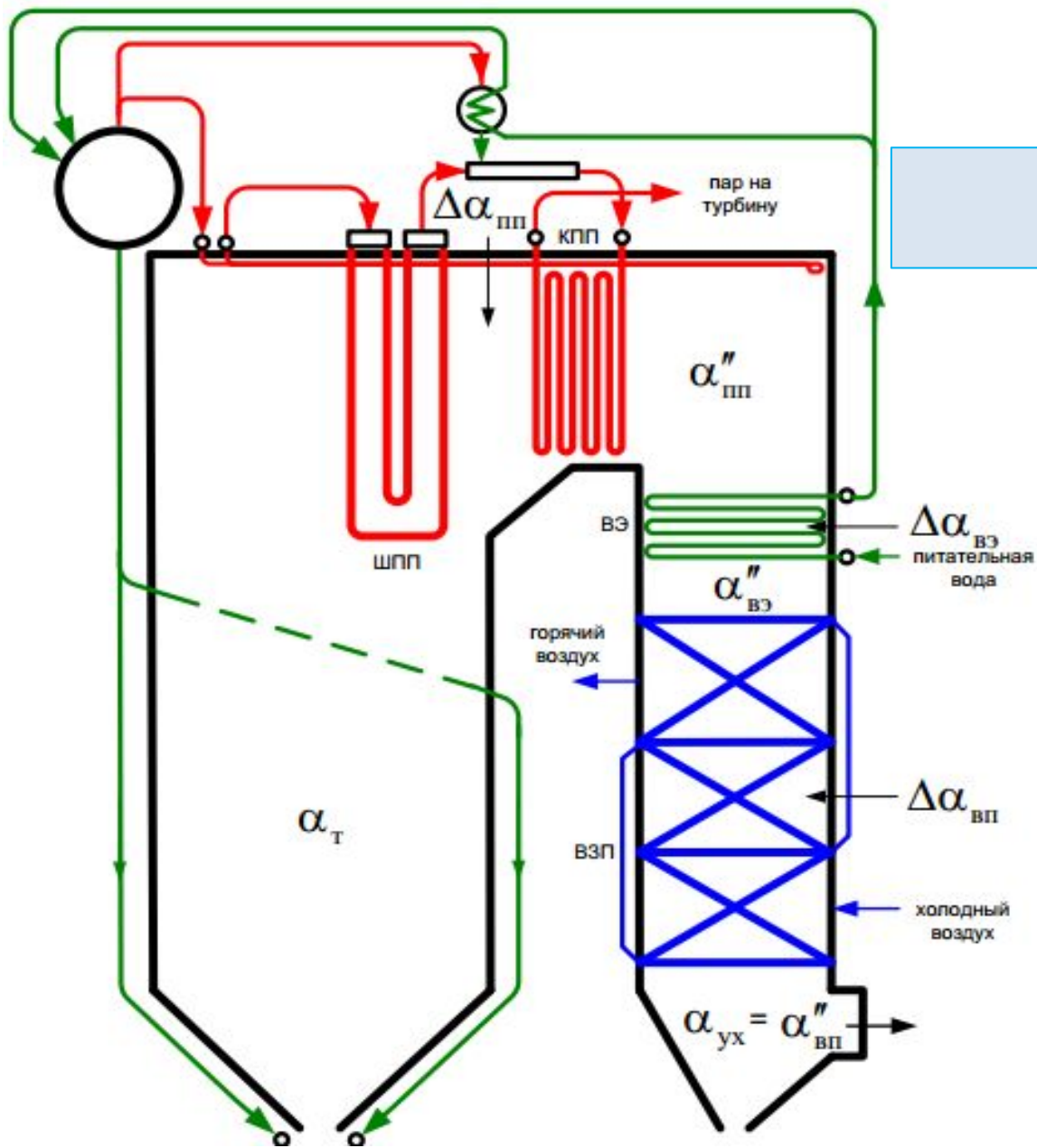
THIS IS A HEAT EXCHANGER WHICH USES THE FLUE GAS LEAVING THE FURNACE AND HEATS THE FEEDWATER AFTER THE FEEDWATER HEATERS HAVE HEATED IT. IN TGS, THE TEMPERATURE IS RAISED TO 300°C SATURATED WATER.



# Трубчатый воздухоподогреватель







# Присосы воздуха

1 кг угля

0,05 м<sup>2</sup>

30 мм



0,03 мм

5 м<sup>2</sup>

50 м<sup>2</sup>

активная поверхность ↑ в 1000 раз





